EDISI KEDUA

HEATING, COOLING, LIGHTING

Metode Desain untuk Arsitektur

NORBERT LECHNER

HEATING, COOLING, LIGHTING

Metode Desain untuk Arsitektur

NORBERT LECHNER

EDISI KEDUA

Divisi Buku Perguruan Tinggi
PT RajaGrafindo Persada
J A K A R T A

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam terbitan (KDT)

Lechner, Norbert

Heating, cooling, lighting: metode desain untuk arsitektur/Norbert Lechner; penerjemah, Sandriana Siti.—Ed. 2—1.—Jakarta: PT RajaGrafindo Persada, 2007.

xviii, 692 hlm: 26 cm

Judul asli: *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*

ISBN 978-979-769-127-1

1. Arsitektur I. Judul. II. Sandriana Siti

720

07-1-7

2007.0939 RAJ
Norbert Lechner
HEATING, COOLING, LIGHTING: Metode Desain untuk Arsitektur

Diterjemahkan dari buku aslinya *Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects*
oleh Sandriana Siti, S.S., S.T.
Pembaca Ahli: Ir. Siti Handjarinto, M.Sc.

Hak terjemahan dan penerbitan Edisi Indonesia pada PT RajaGrafindo Persada, Jakarta

Foto cover: Terminal Utara di Bandara Nasional Ronald Reagan Washington di Washington D.C.
(Arsitek: Cesar Pelli. Foto: Jeff Goldberg/Esto)

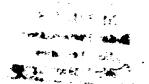
Dicetak di Kharisma Putra Utama Offset

PT RAJAGRAFINDO PERSADA

Kantor Pusat:
Jl. Pelepah Hijau IV TN.1. No. 14-15, Kelapa Gading Permai, Jakarta 14240
Tel/Fax : (021) 4520951 – 4529409
E-mail : rajapers@indo.net.id Http : //www.rajagrafindopersada.com

Perwakilan:

Bandung-40243 Jl.H. Kurdi Timur No. 8 Komplek Kurdi Telp. (022) 5206202. **Yogyakarta**-Pondok Soragan Indah Blok A-1, Jl. Soragan, Ngestiharjo, Kasihan Bantul, Telp. (0274) 625093. **Surabaya**-60118, Jl. Manyar Jaya Blok. B 229 A, Komp. Wahana Wisma Permai, Telp. (031) 5949365. **Palembang**-30137, Jl. Kumbang III No. 4459 Rt. 78, Kel. Demang Lebar Daun Telp. (0711) 445062. **Padang**-25156, Perum. Palm Griya Indah II No. A. 9, Korong Gadang Taruko, Telp. (0751) 498443. **Medan**-20215, Jl. Amaliun No. 72, Telp. (061) 7351395. **Makasar**-90221, Jl. ST. Alauddin Blok A 9/3, Komp. Perum Bumi Permata Hijau, Telp. (0411) 861618. **Banjarmasin**-70114, Jl. Bali No. 31 Rt. 9, Telp. (0511) 3352060. **Bali,** Jl. Trengguli No. 80 Penatih, Denpasar Telp. (0361) 8607995

PENGANTAR

Pada edisi ke-2 ini yang seluruhnya telah dikerjakan ulang, fokus utama yang digunakan dalam edisi pertama pada tahun 1991 lalu tetap ada, yaitu: untuk menyediakan ilmu pengetahuan yang tepat pada tingkat kompleksitas yang memang dibutuhkan pada tahap perancangan skematik. Semenjak edisi pertama diterbitkan, kami telah mengalami pergeseran dari sebuah kondisi minimnya informasi menjadi melimpah ruah. Buku ini akan membantu para perancang karena informasi-informasi di dalamnya tersusun secara ringkas, logis, dan bermanfaat.

Rancangan yang tanggap energi dan tahan lama merupakan bagian yang tersirat di edisi pertama, sedangkan kesinambungan/daya tahan rancangan menjadi permasalahan inti di edisi ke-2 ini. Pada Bab 2 yang baru, daya tahan (*sustainability*) dibahas karena berhubungan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan. Pembahasan pada Bab 2 mencakup dampak pertumbuhan, perubahan iklim, serta penggunaan energi yang dapat diperbaharui. Bab 8 juga merupakan bagian baru yang meliputi Photovoltaic dan Penyinaran Matahari Aktif. Semua bab telah direvisi, sebagian juga telah di tata ulang. Selain itu juga terdapat banyak gambar baru, termasuk ratusan diagram serta foto baru.

Gambar-gambar baru tersebut ditambah untuk menambah nilai referensi buku ini. Setiap bab sekarang diakhiri dengan sebuah daftar "ide pokok" sebagai bahan review dan referensi. Selain itu juga ditambahkan analisis matematika dan contoh-contohnya yang ditempatkan pada kotak-kotak kecil (side box). Enam palet warna dimasukkan agar fenomena warna dalam desain pencahayaan dapat dijelaskan dengan lebih baik. Unit Sistem Internasional (SI) serta faktor-faktor konversi disajikan dengan pas. Setiap bab diakhiri dengan daftar pustaka yang terdiri dari buku, jurnal, organisasi, video, serta situs web.

Meskipun terdapat sedikit perubahan di hampir setiap halaman, berikut adalah catatan-catatan tambahan penting berdasarkan babnya. Bab 3 (Prinsip-prinsip Dasar) sekarang juga membahas *fuel cell* serta hidrogen sebagai bahan bakar. Pada Bab 4 (Kenyamanan Termal) di edisi ini juga terdapat pembahasan yang lebih luas mengenai grafik psikometrik. Pada Bab 5 (Iklim) ditambahkan penjelasan mengenai bagian-bagian panas di kota serta peta tingkat suhu harian. Bab 8 (Photovoltaic dan Penyinaran Matahari Aktif) membahas lebih detil mengenai sistem integrasi bangunan. Bab 9 (Peneduh) sekarang juga membahas sistem-sistem pelapis kaca lebih lanjut lagi, seperti pelapis elektrokromik (*electrochromic*) serta fotokromik (*photochromic*), dan juga faktor peneduh baru yang disebut Koefisien Penambahan Panas Penyinaran Matahari (*SHGC/Solar Heat Gain Coefficient*). Sebuah tabel yang sangat baru, yaitu "Pepohonan Rimbun yang Umum" (*Common Shade Trees*) ditambahkan pada Bab 11 (Desain Samping).

Revisi serta penambahan besar-besaran terdapat pada ketiga bab mengenai pencahayaan. Di dalam Bab 12 (Pencahayaan), pembahasan me-

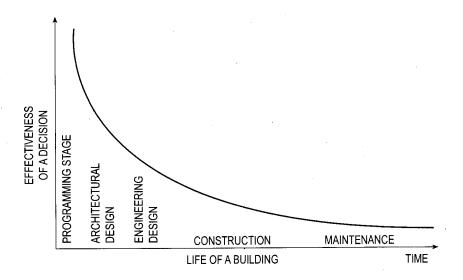
ngenai cahaya dan kesehatan telah diperluas, dan sebuah subbab mengenai kesempatan berkarier di bidang pencahayaan juga telah ditambahkan. Seluruh Bab 13 (Pencahayaan Alami) di revisi dan di tata ulang, dan ditambahkan pembahasan mengenai faktor-faktor seperti *"visible transmittance"* dan juga perbandingan cahaya terhadap penambahan sinar matahari (*Light-to-Solar-Gain-Ratio/ LSGR*). Bab Pencahayaan Elektrik/Buatan (14) membahas sumber-sumber cahaya baru seperti lampu-lampu induksi, lampu-lampu sulfur, dan LED (*light emitting diodes*). Bab 15 (Lapisan Termal) sekarang membahas albedo, panel struktural terinsulasi (*SIPs-Structural Insulated Panels*), bentuk-bentuk beton terinsulasi (ICFs/Insulated Concrete Forms), dan subbab yang membahas mengenai pengendalian uap udara juga telah diperpanjang. Topik-topik baru pada Bab 16 (Perangkat Mekanis) meliputi pemindahan ventilasi, sistem pemisah tanpa pipa, serta sistem pertukaran bumi (*geo-exchange*), sedangkan subbab mengenai penyimpanan termal telah diperpanjang. Bab terakhir (17) terdiri dari sembilan contoh kasus, yang empat dari contoh tersebut merupakan contoh baru, yaitu: "The Real Goods Solar Living Center" di California, bangunan "The Urban Villa" di Netherlands, bangunan "Commerzbank" di Jerman, serta bangunan "Pheonix Central Library" di Arizona.

Sebagian besar Lampiran juga telah diubah. Diagram jalur matahari vertikal sekarang telah dimasukkan sebagai Lampiran B. "Metode-metode untuk Memperkirakan Ketinggian Objek," yang masuk dalam Lampiran D telah direvisi total dan juga diperpanjang. Bagian baru, yaitu "Alat Evaluasi Mandiri ditambahkan sebagai Lampiran H. Bagi para mahasiswa yang ingin melanjutkan studinya dalam pemanasan tahan lama, pendinginan, serta pencahayaan, Lampiran I (Kesempatan Pendidikan dalam Perancangan Tanggap Energi) bisa menjadi sebuah sumber informasi yang berharga. Terakhir Lampiran J mencantumkan sumber-sumber terkini termasuk: buku, jurnal, video, CD-Rom, serta organisasi.

Buku ini memfokuskan pada tahap perancangan skematis, yang merupakan saat keputusan-keputusan utama dibuat. Grafik yang di bawah ini menunjukkan bagaimana keputusan-keputusan yang dibuat di awal pengerjaan ternyata memiliki dampak terbesar pada sebuah proyek. Biaya gedung dan pengaruh lingkungan sebagian besar ditentukan pada tahap desain skematis. Keputusan-keputusan paling mendasar seperti ukuran, orientasi, dan bentuk sering memiliki pengaruh terbesar pada sumber-sumber yang dibutuhkan selama konstruksi dan operasi.

Informasi di dalam buku ini disajikan untuk mendukung tiga tingkat pendekatan terhadap pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan-bangunan. Tingkat pertama adalah penghindaran beban. Di sini kebutuhan-kebutuhan akan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan diminimalkan oleh desain bangunan itu sendiri. Tingkat kedua terdiri dari penggunaan energi alami sebanyak mungkin. Tingkat ini juga disempurnakan terutama oleh rancangan bangunan itu sendiri. Tingkat ketiga, sekaligus yang terakhir, menggunakan perangkat mekanis untuk memuaskan kebutuhan-kebutuhan yang belum juga terpenuhi oleh tingkat pertama dan kedua.

Dengan pengetahuan dan kajian yang disajikan dalam buku ini, dua tingkat pertama dapat memberikan sebagian besar kebutuhan-kebutuhan termal dan pencahayaan sebuah bangunan sehingga perangkat mekanis yang merupakan tingkat ketiga akan menjadi lebih kecil dan menggunakan energi yang lebih sedikit, dibandingkan yang digunakan sekarang. Jadi dapat menghasilkan bangunan-bangunan yang lebih bertahan lama. Karena tingkat pertama dan kedua merupakan bidang para arsitek, peran teknisi pada tingkat ketiga adalah hanya untuk menyediakan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan yang tidak bisa dilakukan oleh arsitek.

EFFECTIVENESS
OF A DECISION
PROGRAMMING STAGE
ARCHITECTURAL
DESIGN
ENGINEERING
DESIGN
CONSTRUCTION
MAINTENANCE
LIFE OF A BUILDING
TIME

UCAPAN TERIMA KASIH

Banyak orang telah membantu dalam proses pembuatan buku ini –bahkan terlalu banyak hingga tidak memungkinkan untuk disebutkan satu per satu. Terutama sekali, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada istri saya Judy, anak-anak saya Walden dan Ethan, serta ibu saya Leni atas pengertian serta bantuannya.

Ucapan terima kasih secara khusus, saya berikan juga kepada Paul C. Brandt dan Universitas Auburn atas dukungannya pada proyek yang telah berlangsung lama ini. Apresiasi khusus juga saya patut berikan untuk para pembaca dan pengkaji – William Bobenhausen, Murray Milne, Michael Swimmer, Eugene Pauncz, dan Lorna Wiggins; peneliti serta asisten editorial – Judith V. Lechner; seniman – Daniel C. Ly, Andy Ballard, Keith Myhand, Charles Carr, Troy Batson, Blayne Rose, dan Keith Pugh; juru tik – Rosetta Massingale, Darlene Kenny, Valerie Samuel, dan Magaret Wright.

Untuk edisi ke-2 ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Prof. Russel Leslie dari Ronsellear Polytechnic Instititute dan Lighting Research Center atas reviewnya yang saksama pada ketiga bab mengenai pencahayaan; Prof. Robert Anderholt dari Auburn University atas reviewnya pada Bab Perangkat Mekanis; Prof. Richard Kenworthy dari Auburn University atas reviewnya pada Bab Perancangan Tapak dan Lingkungannya; dan Roger Hill, John Stevens, dan Earl Rush dari Sandia National Laboratory atas reviewnya pada Bab PV dan Penyinaran Matahari Aktif. Prof. Kenworthy juga membuat Tabel 11.9: "Pepohonan rimbun yang umum" pada bab tersebut. Juga untuk editor eksekutif Alex Wilson dari buletin *Environmental Building News* yang telah mengizinkan saya untuk menggunakan versi singkat artikelnya mengenai Pulau Easter. Versi singkat tersebut ditulis oleh Dr. Eugene Goldwater. Sebagian besar karya seni dan gambar sketsa yang baru dibuat oleh Cormac Phalen. Namun, jumlah kontributor gambar-gambar maupun foto-foto terlalu banyak untuk disebutkan satu per satu di sini, tetapi, penghargaan bagi mereka diberikan di dalam keterangan gambar/foto mereka.

Saya juga ingin mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan yang telah diberikan Prof. Emerita Joan Nist, Auburn University; Ahli Perpustakaan Emerita Lorna Wiggins, Auburn University, yang telah membantu dalam koreksi buku ini. Pengetikan dan pekerjaan administrasi dilakukan oleh anak saya Walden dan Ethan Lechner. Ethan juga telah membantu dalam mengoreksi dan mengedit. Dan khususnya saya ingin mengucapkan terima kasih untuk istri saya Dr. Judy Lechner, Univeristas Auburn, tidak hanya atas bantuan teknisnya pada bagian indeks dan bibliografi, tetapi juga atas dorongan, dan kesabarannya yang tanpanya buku ini tidak akan ada.

NORBERT LECHNER,
Auburn University
Oktober 2000

PENDAHULUAN

Diambil dari Edisi Pertama Buku *Heating, Cooling, Lighting*
(Pemanasan, Pendinginan, Pencahayaan)

Buku Professor Lechner ini sangat berbeda dengan buku sebelumnya dalam beberapa hal penting, yaitu: (1) ia membahas pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan bukan sebagai bagian yang berbeda dan terpisah, melainkan sebagai gabungan integral tugas yang lebih besar terhadap pengelolaan lingkungan; (2) ia menguraikan hal-hal tersebut tidak hanya didasari atas komitmen terbatas para insinyur, yaitu efesiensi mekanis dan ekonomi saja, namun juga atas sebuah sudut pandang yang lebih luas, yaitu kenyamanan umat manusia, serta kesehatan fisik dan mentalnya; (3) ia menangani permasalahan ini dalam hubungannya dengan pusat paradoks arsitektur, yaitu bagaimana menyediakan sebuah lingkungan internal yang stabil dalam sebuah lingkungan eksternal yang terus-menerus berubah; dan yang terakhir (4) ia membahas seluruh aspek dalam permasalahan yang kompleks ini melalui sudut pandang yang sangat kultural. Hal ini berlawanan dengan sudut pandang teknologi yang cenderung sempit.

Tidak ada maksud untuk memusuhi teknologi kontemporer atas sudut pandang yang bertentangan ini. Sebaliknya, Professor Lechner menanganinya secara komprehensif dan cermat. Namun, ia tidak pernah lupa bahwa dalam usaha untuk menyediakan sebuah tempat yang benar-benar sesuai bagi aktivitas manusia harus melihat bangunan sebagai satu kesatuan utuh. Ia menyatakan bahwa kurang lebih hingga akhir abad ini, faktor-faktor pengelolaan lingkungan juga merupakan masalah arsitektural. Bangunannya sendiri –dan kebetulan saja jika terdapat perangkat mekanik yang mampu dibeli saat itu– yang menyediakan ruang yang layak huni. Untuk menggambarkan poin ini, Professor Lechner telah membuat analisis yang berkesinambungan, serta informatif, baik bagi gaya modern maupun tradisi vernacular untuk memperlihatkan bagaimana cerdasnya masalah pengendalian iklim ditangani oleh masyarakat yang hidup sebelum adanya sains dan mesin.

Buku ini bukanlah buku yang mudah untuk dicerna oleh para arsitek yang menginginkan cara singkat untuk menghasilkan karya arsitektur post-modern yang megah. Justru sebaliknya, buku ini merupakan sebuah panduan yang telah disusun dengan cermat yang disertai penjelasan logis bagi para arsitek (tua maupun muda) yang sedang mencari jalan keluar dari kebuntuan akibat penghamburan energi yang telah merusak yang di beberapa dekade terakhir ini diarahkan oleh para praktisi kepada kita. Buku ini juga bukan sebuah kritik yang berlebihan terhadap teknologi modern, tetapi buku ini justru memberikan penjelasan yang bijak dan progresif tentang bagaimana kita yang bekerja di bidang arsitektural menerapkannya untuk menghindari perusakan lingkungan.

JAMES MARSTON FITCH
Hon. AIA, Hon. FRIBA

DAFTAR ISI

4

KENYAMANAN TERMAL

5

IKLIM

6

ILMU UKUR MATAHARI

7

PENYINARAN MATAHARI PASIF

8

PHOTOVOLTAICS DAN PENYINARAN MATAHARI AKTIF

9

PENEDUH

10

PENDINGINAN PASIF

11

PERANCANGAN TAPAK SERTA PERENCANAAN LINGKUNGANNYA

12

PENCAHAYAAN

13

PENCAHAYAAN ALAMI

14

PENCAHAYAAN ELEKTRIKAL (BUATAN)

15

PERLINDUNGAN TERMAL: MENYIMPAN HANGAT DAN TETAP SEJUK

16

PERALATAN MEKANIS UNTUK PEMANASAN DAN PENDINGINAN

17

STUDI KASUS

BAB 1

PEMANASAN, PENDINGINAN, DAN PENCAHAYAAN SEBAGAI PEMBERI BENTUK DALAM ARSITEKTUR

"Dua kualitas utama arsitektur (komoditas dan kepuasan) yang telah diturun-temurunkan Vitruvius, dapat tercapai lebih lengkap saat hal itu terlihat sebagai sesuatu yang berkelanjutan, tidak terpisah."

"Namun, secara umum penggabungan kreativitas kedua kualitas (komoditas dan kepuasan) kemungkinan besar akan terjadi saat sang arsitek tidak terlalu mengasyikkan diri dengan pembuatan bentuk atau pemecahan masalah, tetapi dapat melihat pengalaman bangunan sebagai satu kesatuan..."

John Morris Dixon

1.1 PENGANTAR

Hingga sekitar 100 tahun yang lalu, pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan sebuah bangunan merupakan daerah kekuasaan para arsitek. Kenyamanan hawa dan pencahayaan terwujud dari hasil perancangan bangunan yang bersangkutan serta beberapa perangkat yang terdapat di dalamnya. Pemanasan merupakan hasil rancangan sebuah bangunan yang tersusun padat dan diisi dengan perapian atau tungku. Pendinginan merupakan hasil proses mengalirkan udara luar yang sejuk ke ruang dalam bangunan dengan memanfaatkan beberapa jendela yang terbuka serta ternaungi dari sinar matahari. Sementara itu, pencahayaan berasal dari jendela yang terbuka atau penggunaan lampu minyak atau lilin.

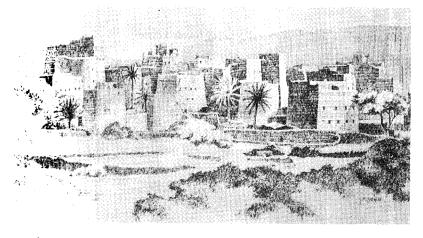
Pada tahun 1960-an kondisi mulai berubah secara dramatis. Konsep bahwa pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan merupakan hasil perangkat mesin atau mekanik yang dirancang oleh para ahli teknik, telah tersebar dan diterima oleh masyarakat luas.

Kesadaran kita telah terpicu ke atas akibat krisis tenaga listrik pada tahun 1973. Sekarang konsep pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan telah diakui sebagai wujud hasil dari penggabungan kedua belah pihak, baik aspek perangkat mekanik maupun rancangan bangunan itu sendiri. Beberapa contoh arsitektur vernakular dan regional dapat memperlihatkan bagaimana sebuah rancangan arsitektural dapat memberikan kontribusi terhadap sistem pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan sebuah bangunan.

1.2 ARSITEKTUR VERNAKULAR DAN REGIONAL

Salah satu alasan terciptanya perbedaan arsitektur regional adalah adanya perbedaan reaksi terhadap iklim. Jika kita perhatikan, bangunan-bangunan yang terletak di daerah yang beriklim panas, lembap, kering, dan yang beriklim dingin, akan memperlihatkan suatu perbedaan.

Pada daerah yang beriklim panas dan kering, kita akan sering menemukan bangunan yang berdinding tebal dan padat. Tipe jendela yang digunakan adalah yang berukuran kecil hingga cukup untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan ruang dalam bangunan. Fungsi lain dari ukuran jendela yang kecil adalah untuk menghindari udara panas mengalir ke dalam bangunan pada waktu siang hari saat matahari di luar menyorot dengan terik. Warna dinding luar bangunan juga sering kali dipilih yang muda untuk memperkecil daya serap panas sinar matahari ke dalam bangunan. Sementara itu, untuk dinding ruang dalam biasanya berwarna muda agar dapat bermanfaat untuk membantu menyebarkan sinar matahari yang telah masuk lewat jendela yang kecil (Gbr 1.2a).

Jarangnya turun hujan mengakibatkan bentuk atap datar pada bangunan sehingga menghasilkan sebuah ruang tambah untuk penghuni yang sering kali dimanfaatkan sebagai ruang tidur atau ruang keluarga terbuka pada malam hari di musim panas. Setelah matahari terbenam, ruang luar dapat menjadi dingin dengan cepat karena proses radiasi dari kondisi langit malam yang cerah. Dengan demikian, atap jauh lebih nyaman dibanding ruang dalam bangunan, karena masih sangat hangat dari panas siang hari yang masih tersimpan pada dinding yang masif.

Gambar 1.2a Konstruksi yang padat, jendela kecil, serta warna muda sangat khas di daerah yang beriklim panas kering seperti yang terdapat di pedesaan Arab Saudi. Selain itu, sering juga ditemukan bangunan yang beratap datar dengan letak bangunan yang berdekatan untuk mendapatkan sistem naungan. (Digambarkan oleh Richard Milman)

Perencanaan lingkungan juga merupakan hasil reaksi iklim yang ada. Pada daerah beriklim panas kering, letak bangunan sering kali berkelompok dan berdekatan sehingga saling memberi naungan terhadap bangunan yang ada dan juga terhadap ruang luar publik di antara bangunan tersebut.

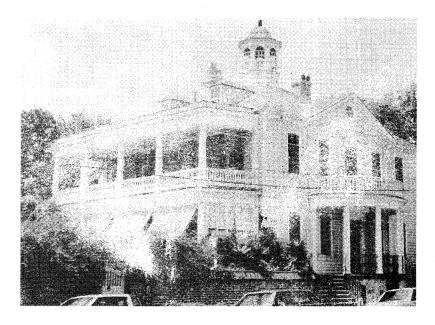
Pada daerah yang beriklim panas lembap, kita akan menemukan tipe bangunan yang sangat berbeda. Walaupun suhu lebih rendah, tingginya tingkat kelembapan mengakibatkan timbulnya ketidaknyamanan. Cara menanggulanginya adalah dengan mengalirkan udara pada kulit untuk menaikkan tingkat pendinginan melalui penguapan. Walaupun uap air di udara dapat melemahkan efek sinar matahari, radiasi sinar matahari langsung merupakan sesuatu yang tidak diinginkan. Rumah tipe '*antebellum*' (Gbr.1.2b) merupakan contoh rumah yang muncul dari reaksi pada daerah yang beriklim lembap. Tipe ini menggunakan jendela berukuran besar, *large overhangs cantilever*[1] yang besar, penggunaan warna muda pada dinding, serta memiliki plafon yang tinggi. Jendela yang besar dapat memaksimalkan ventilasi, sedangkan cantilever dan daun penutup jendela dapat melindungi bangunan dari sinar matahari dan hujan. Pemanfaatan warna muda untuk dinding dapat memperkecil tingkat kenaikan suhu panas pada bangunan.

Daerah beriklim lembap memiliki suhu pada malam hari yang tidak jauh berbeda dengan suhu pada siang hari. Dengan demikian, konstruksi bangunan padat justru akan menjadi penghambat. Bangunan sering kali terbuat dari konstruksi kayu ringan. Plafon yang tinggi juga dapat membantu udara untuk berlapis. Dengan demikian, penghuni akan berada pada lapisan udara yang di bawah, yaitu lapisan udara yang paling dingin. Ventilasi vertikal yang melewati udara di bawah atap atau jendela tinggi tidak hanya meningkatkan kualitas ventilasi, tetapi juga mengalirkan lapisan udara paling panas terlebih dahulu. Untuk alasan ini, penggunaan atap tinggi yang berbentuk segitiga tanpa plafon sering kali digunakan di seluruh daerah yang memiliki iklim dengan kelembapan yang tinggi. (Gbr. 1.2c)

Bangunan-bangunan diletakkan sejauh mungkin, untuk mendapatkan akses udara dingin yang maksimal. Di beberapa daerah lembap seperti di Timur Tengah, perangkap angin digunakan untuk meningkatkan kelancaran ventilasi alami bangunan (Gbr 1.2d).

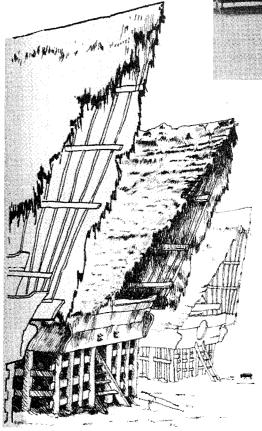
Sementara itu, pada daerah yang beriklim sejuk yang mendung-berawan seperti di daerah Pasifik Barat Laut, bangunan yang ada lebih bersifat terbuka untuk menangkap sebanyak mungkin sinar matahari yang ada. Pada daerah beriklim seperti ini banyak ditemukan bangunan yang menggunakan jendela tipe *bay windows*[2] (Gbr. 1.2e).

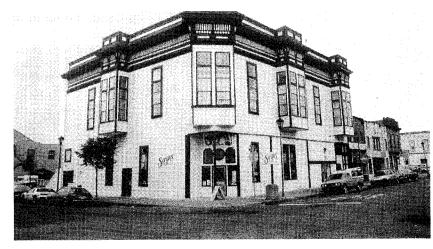
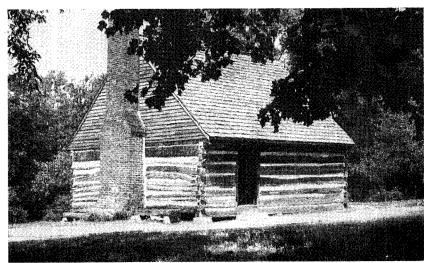
Dan yang terakhir, pada daerah beriklim dingin, kita akan melihat tipe arsitektur yang berbeda lagi.

Gambar 1.2b Pada daerah yang beriklim panas dan lembap, ventilasi alami yang didapatkan dari jendela yang ternaungi merupakan kunci utama dari sebuah kenyamanan. Rumah Charleston, S.C, memanfaatkan teras yang beratap dan balkon untuk menaungi jendela dari sinar matahari serta menciptakan suatu ruang luar yang dingin dengan warna putih pada dinding serta bukaan ventilasi atap juga merupakan elemen penting untuk memperkecil peningkatan suhu pada musim panas.

Pada tipe iklim ini, titik penekanannya berada pada penyimpanan panas. Bangunan, cenderung tersusun rapat untuk meminimalisasi perbandingan luas area permukaan terhadap volume. Jendela berjumlah sedikit karena mereka merupakan titik lemah dalam penyimpanan udara panas. Karena penahanan panas pada dinding sangat penting, penggunaan kayu lebih diutamakan daripada batu (Gbr. 1.2f). Karena udara panas cenderung mengalir ke atas, plafon dibuat cukup rendah (sering kali di bawah 7 kaki atau 2.10m.). Pepohonan dan bentuk daratan dimanfaatkan sebagai penghalang angin musim dingin. Meskipun ada keinginan memiliki jendela untuk melihat pemandangan serta masuknya sinar matahari, sering kali jendela dikorbankan untuk mendapatkan kebutuhan penyimpanan panas yang cukup.

1.3 ARSITEKTUR FORMAL

Bukan hanya struktur vernakular, namun bangunan yang telah dirancang oleh para arsitek terkenal pun merupakan akibat perlunya mengendalikan lingkungan sekitarnya. Bagaimanapun, *portico*[3] Yunani hanya merupakan salah satu ciri bangunan yang berfungsi utama sebagai pelindung dari hujan dan sinar matahari (Gbr. 1.3a). Popularitas arsitektur klasik tidak hanya berdasarkan estetika, tetapi juga berdasarkan kepraktisan. Tidak ada lagi cara

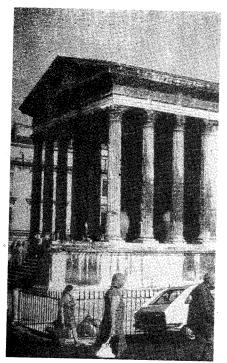
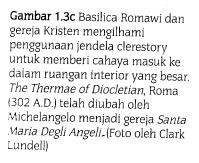
Gambar 1.2d Saat ventilasi tambahan dibutuhkan, perangkap angin dapat digunakan seperti terlihat pada bangunan bersejarah yang telah direkonstruksi ulang di Dubai. Perhatikan juga bukaan yang berbentuk anyaman pada dinding untuk lebih mengoptimalkan ventilasi udara secara alami. (Foto oleh Richard Millmen)

Gambar 1.2c Pada daerah beriklim panas lembap seperti di Sumatra, Indonesia, bangunan tradisional sering kali diangkat dengan beberapa tiang (rumah panggung) serta memiliki atap berbentuk tinggi dengan pucuk atap terbuka untuk mengoptimalisasi ventilasi udara secara alami.

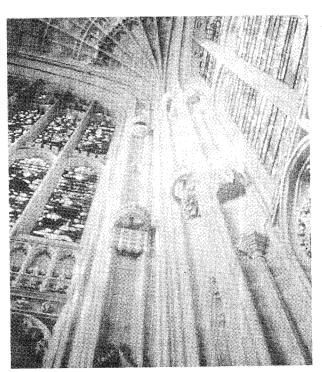
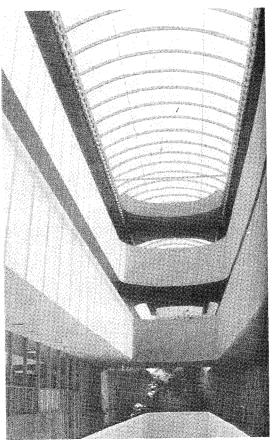
Gambar 1.2e Jendela tipe *Bay-Window* digunakan untuk mendapatkan cahaya semaksimal mungkin di daerah yang beriklim mendung-berawan, seperti yang terlihat di Eureka, CA.

Gambar 1.2f Pada daerah yang beriklim dingin, bentuk ruang yang rapat, dinding terbuat dari kayu tebal, serta jumlah jendela yang terbatas, merupakan cara tradisional untuk menjaga kehangatan pada ruang dalam bangunan. Pada daerah yang sangat dingin, akan terdapat juga perapian yang sering kali terletak di dalam dinding luar bangunan atau di tengah bangunan tersebut.

yang lebih baik daripada membuat suatu atap yang berjuntai lebar di atas teras dengan beberapa kolom *colonnades*[4] atau *arcades*[5] sebagai penopangnya (Gbr. 1.3b).

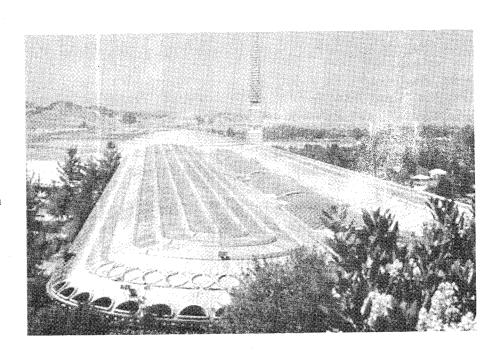
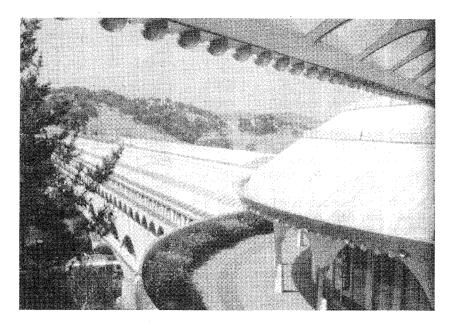
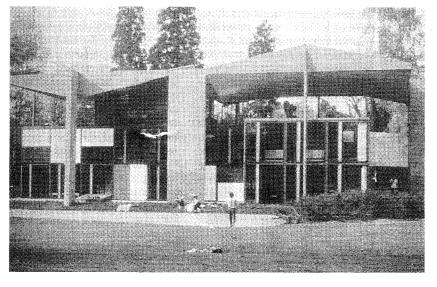
Basilica[6] Romawi terdiri dari beberapa ruangan yang memiliki posisi plafon sangat tinggi sehingga menghasilkan ruang yang nyaman pada musim panas untuk daerah yang beriklim panas. Jendela tipe *clerestory* sering kali digunakan agar sinar matahari dapat memasuki ruang tengah. Baik penopang atap maupun geligi kubah basilica menjadi prototipe gereja Kristen (Gbr. 1.3c).

Salah satu tujuan utama para pembangun zaman *Gothic* ini adalah untuk memaksimalkan area jendela sebagai lorong anti kebakaran yang luas. Sebagai sistem struktur yang juga ingin memberi sebuah daya tarik lebih, perancang telah memaksimalkan pemakaian elemen kaca patri yang dapat memasukkan cahaya alami secara maksimal (Gbr. 1.3d).

Kebutuhan sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan juga telah memengaruhi karya para arsitek terkemuka di abad kedua puluh, seperti Frank Llyod Wright. Gedung *Marin County Court House*, menitikberatkan pentingnya naungan serta cahaya alami. Untuk mendapatkan pencahayaan alami yang maksimal dalam hampir semua ruangan kantornya, bangunan ini terdiri dari elemen linear yang terbagi oleh atrium berlapis kaca (Gbr. 1.3e dan 1.3f). Jendela luar dinaungi oleh sebuah *overhang* yang menyerupai *arcade* (Gbr. 1.3g). Karena elemen lengkung bukan merupakan elemen struktural, Frank Llyod Wright membuatnya menggantung dari bangunannya.

Le Corbusier juga berpendapat bahwa sebuah bangunan harus efektif dalam sistem pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan-

Gambar 1.3a *Portico* klasik memiliki fungsi dasar ruang masuk tipe zaman Megaron Yunani yang terlindung dari sinar matahari dan hujan. (Maison Carée, Nimes, Prancis)

Gambar 1.3b Gaya Klasik *Revival* sangat populer di daerah Selatan Amerika Serikat karena sangat cocok untuk daerah yang beriklim panas.

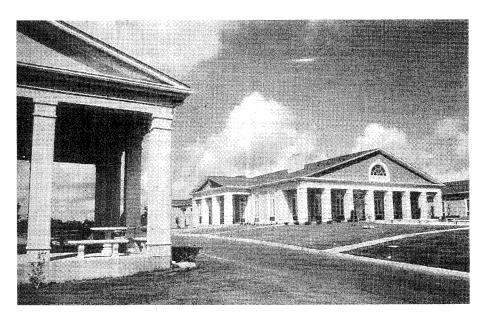
Gambar 1.3c Basilica Romawi dan gereja Kristen mengilhami penggunaan jendela clerestory untuk memberi cahaya masuk ke dalam ruangan interior yang besar. *The Thermae of Diocletian*, Roma (302 A.D.) telah diubah oleh Michelangelo menjadi gereja *Santa Maria Degli Angeli*. (Foto oleh Clark Lundell)

Gambar 1.3d Pencahayaan alami di sini memberi kesan mistik saat cahaya alami melewati jendela kaca patri gedung Cathedral tipe Gothic ini. (Foto oleh Clark Lundell)

Gambar 1.3e Permukaan putih memantulkan cahaya alami menuju lantai yang lebih rendah. Ruang kantor yang menghadap atrium memiliki dinding-kaca keseluruhan.

Gambar 1.3f Gedung *Marin County Court House*, California dirancang oleh Frank Llyod Wright, memiliki galeri pusat untuk membawa masuk cahaya alami ke dalam ruang kantor.

Gambar 1.3g Jendela luar bangunan Gedung *Marin County Court House* ini terlindung dari cahaya sinar matahari langsung oleh lorong ruang luar yang berbentuk seperti sebuah arcade.

Gambar 1.3h "*Maison d'Homme*" di Zurich, Switzerland menerapkan konsep atap *parasol* dengan baik. Bangunan ini sekarang dinamakan "Centre le Corbusier". (Foto oleh William Gwinn)

nya. Pengembangan yang dilakukannya, yakni *brise soleil* akan kita bahas nanti. Sebuah elemen bangunan yang ditemukan Le Corbusier adalah tipe **atap *parasol***[7], struktur seperti payung yang menutupi seluruh bangunan. Contoh yang bagus untuk konsep ini adalah *"Maison d'Homme'*, di mana Le Corbusier merancangnya dengan kaca dan baja dilapisi cat (Gbr. 1.3h).

Sekarang, tanpa adanya gaya yang lebih berkuasa untuk memandu para arsitek, sering ditemukan aliran arsitektur *"revivalism"*. Bangunan yang ada pada Gambar. 1.3i menggunakan tipe portico klasik untuk memberi naungan. Adaptasi dari sejarah seperti ini dapat lebih responsif terhadap iklim dibanding dengan gaya internasional (*international style*) yang sering kali mengabaikan keadaan iklim setempat. Banyak bangunan yang terdapat pada iklim dingin akan terus mendapat keuntungan dari dindingnya yang padat serta lapisan luar dinding yang berwarna muda. Dengan melihat ke belakang, dapat dipahami bahwa sebuah tempat akan mampu menjadi pelopor perkembangan sebuah gaya arsitektur regional yang baru.

1.4 PENDEKATAN ARSITEKTURAL

Perancangan sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan dapat terwujud melalui

Gambar 1.3i Bangunan-bangunan Postmodern ini mempromosikan konsep*regionalisme*, yakni dengan mencerminkan gaya daerah Selatan Amerika Serikat masa lalu.

tiga tingkat pelaksanaan (Tabel 1.4). Tingkat pertama adalah rancangan arsitektural bangunan yang berfungsi untuk memperkecil kehilangan panas di musim dingin, memperkecil peningkatan panas di musim panas, serta untuk memanfaatkan cahaya secara efisien. Pengambilan keputusan yang kurang tepat dalam hal ini dapat mengakibatkan penggunaan perangkat mekanis dan tenaga listrik dua hingga tiga kali lipat dibanding yang semestinya. Tingkat kedua melibatkan penggunaan tenaga alami dengan metode seperti sistem pemanasan,

Gambar 1.4 Pendekatan tiga tingkat pelaksanaan pada desain sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan menghasilkan bangunan yang nyaman, hemat energi, ekonomis, dan berkelanjutan.

pendinginan, dan pencahayaan pasif. Pengambilan keputusan yang tepat pada tingkat ini dapat memperkecil masalah yang mungkin telah timbul pada tingkat pertama. Baik tingkat pertama maupun kedua terwujud melalui perancangan arsitektural bangunan. Tingkat ketiga terdiri dari perancangan perangkat mekanikal yang lebih banyak menggunakan sumber tenaga yang tidak dapat didaur ulang agar dapat menangani sisa beban dari tingkat pertama dan kedua. Tabel 1.4 memperlihatkan beberapa pertimbangan perancangan yang khas pada ketiga tingkat.

Sadar atau tidak, perancangan sistem pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan sebuah bangunan akan selalu melibatkan ketiga tingkat ini. Sayangnya, tuntutan agar bangunan itu sendiri dapat menjadi pengendali lingkungan ruang dalamnya, sangat sedikit. Sering kali orang yang dianggap bertanggung jawab atas tercapainya pengendalian utama lingkungan bangunan adalah para ahli teknik/mekanikal yang terletak pada tingkat ketiga. Oleh karena itu, para arsitek yang sering kali kurang memberi perhatian pada pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan, kadang-kadang merancang bangunan yang bertentangan dengan lingkungan. Sebagai contoh, bangunan yang memiliki permukaan yang dilapisi kaca besar telah dirancang untuk daerah yang beriklim sangat panas atau sangat dingin. Dengan demikian, para ahli teknik dipaksa untuk lebih menekankan rancangan bangunan pada pusat pemanasan dan pendinginan bertenaga tinggi dalam usaha mendapatkan kenyamanan termal. Ironisnya, karena bangunan berkaca banyak ini tidak dirancang untuk menggunakan cahaya alami secara optimal, penghuni bangunan tetap menyalakan lampu listrik pada siang hari walaupun cahaya matahari yang masuk sangat banyak. Ukuran perangkat mekanikal pada bangunan dapat dijadikan sebagai

TABEL 1.4 *Tiga Tingkatan Pendekatan Perancangan*

	Pemanasan	Pendinginan	Pencahayaan
Tingkat 1	*Pemeliharaan*	*Penghindaran panas*	*Cahaya alami*
Dasar Perancangan Bangunan	1. Perbandingan antarpermukaan bangunan dan volume bangunan 2. Isolasi 3. Infiltrasi	1. Naungan 2. Warna luar 3. Isolasi	1. Jendela-jendela 2. Tipe glazing 3. Pelapis ruang dalam
Tingkat 2	*Pemanasan Pasif*	*Pendinginan Pasif*	*Pencahayaan Alami*
Energi Alamiah serta Cara Teknis yang Pasif	1. Keuntungan langsung 2. Dinding "trombe" 3. Sunspace	1. Pendinginan dengan evaporasi 2. Pendinginan dengan konvensi 3. Pendinginan dengan radiasi.	1. Skylights 2. Clerestories 3. Light shelves
Tingkat 3	*Perangkat Pemanas*	*Perangkat Pendingin*	*Pencahayaan Elektrikal*
Perangkat Mekanikal dan Elektrikal	1. Tungku 2. Saluran 3. Bahan bakar	1. Mesin pendingin 2. Saluran 3. Penyebar	1. Lampu 2. Peralatan 3. Letak Peralatan

tolok ukur berhasil atau tidaknya sebuah rancangan sang arsitek dalam membuat bangunan yang mampu menjadi pengendali lingkungan ruang dalamnya.

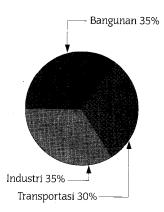
Bangunan akan menjadi lebih baik, saat kesadaran penuh timbul, bahwa setiap tingkatan merupakan bagian integral dari proses perancangan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan. Tipe bangunan seperti ini sering kali lebih murah karena berkurangnya perangkat mekanikal serta tenaga listrik yang dibutuhkannya. Selain itu, sering kali bangunan tersebut lebih nyaman karena perangkat mekanikal yang digunakan tidak harus berusaha keras untuk menangani beban termal yang besar. Kelebihannya lagi, bangunan tipe ini jauh lebih menarik karena dana yang harus digunakan untuk perangkat mekanikal sekarang dapat dimanfaatkan untuk elemen-elemen arsitektural. Tidak seperti perangkat mekanikal yang dapat disembunyikan, features elemen seperti peneduh akan sangat menonjol pada estetika tampak ruang luar bangunan.

Perhatian yang cukup pada tingkat satu dan dua akan menghasilkan kemudahan dalam mengurangi jumlah perangkat mekanikal yang dibutuhkan hingga 50 persen atau 90 persen. Pada iklim tertentu, beberapa bangunan dapat dirancang untuk tidak menggunakan perangkat mekanikal sama sekali. Sebagai contoh, bangunan kantor/rumah milik keluarga Lovin sama sekali tidak memiliki dan tidak membutuhkan perangkat mekanikal untuk mewujudkan kenyamanan, walaupun letaknya di atas Pegunungan Rocky.

1.5 BANGUNAN DINAMIS DAN BANGUNAN STATIS

Bangunan kontemporer pada dasarnya statis dengan sedikit bagian yang dinamis, seperti perangkat mekanikal, pintu, dan kadang-kadang jendela mekanik. Sementara itu, di sisi lain, bangunan pintar (*intelligent buildings*) mampu beradaptasi dengan lingkungannya yang sering kali dapat berubah-ubah. Perubahan ini dapat berlangsung secara beraturan selama satu hari, seperti, sebuah perangkat naungan yang otomatis akan dapat menjurai/melebar saat terang dan menggulung kembali saat cuaca mendung. Pilihan lainnya otomatis dapat berkembang hingga perangkat naungan ini mampu digerai ke luar pada musim panas dan digulung saat musim dingin, mirip dengan sebuah pohon *deciduous* (pohon yang berguguran di musim gugur). Dinamika aspek ini dapat berupa hal yang sederhana seperti sebuah perangkat naungan atau bisa juga dramatis seperti bangunan yang mampu merotasikan diri sesuai dengan keberadaan sinar matahari (Gbr. 9.15c hingga 9.15e). Bangunan yang dinamis seperti ini tidak hanya akan berfungsi lebih baik dibandingkan bangunan yang statis, tetapi juga akan menghasilkan elemen estetika yang lebih menarik, yakni estetika yang berasal dari estetika perubahan itu sendiri. Berbagai macam contoh bangunan dinamis dapat dilihat di seluruh buku ini, namun lebih banyak ditemukan pada bab mengenai peneduhan, pendinginan pasif, serta pencahayaan alami.

1.6 ENERGI DAN ARSITEKTUR

Sebuah sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan sebuah bangunan akan terwujud baik dengan penambahan atau pengurangan energi. Oleh karena itu, buku ini berisi tentang manipulasi penggunaan energi. Pada tahun 1960-an, penggunaan

Gambar 1.6 Sektor yang paling banyak menggunakan energi di Negara Amerika Serikat.

energi dianggap sebagai suatu hal yang kurang penting. Sebagai contoh, beberapa bangunan kadang-kadang dirancang tanpa saklar lampu karena dipercaya akan lebih ekonomis jika lampu dibiarkan menyala terus-menerus tanpa henti. Selain itu, yang juga sangat populer adalah bagaimana perangkat pengatur udara (*air-conditioning* - AC) untuk bangunan besar/bertingkat banyak menggunakan sistem *terminal reheat* (pusat pemanasan ulang) di mana udara pada awalnya didinginkan paling dingin untuk ruang yang memerlukan, lalu dipanaskan lagi sesuai kebutuhan dan kepuasan ruang lainnya. Penggunaan tenaga secara dua kali lipat ini tampaknya tidak dianggap sebagai isu yang penting.

Kebutuhan energi dalam bangunan pada saat ini adalah sekitar 35 persen dari seluruh energi yang dipakai negara Amerika Serikat (Gambar. 1.6). Terlihat jelas bahwa industri bangunan memiliki tanggung jawab yang besar terhadap gambaran penggunaan energi negara ini. Walhasil para arsitek memiliki tanggung jawab dan peluang untuk merancang dengan tujuan hemat-energi.

Tanggung jawab ini menjadi sangat besar karena umur efektif suatu produk. Kendaraan bermotor memiliki umur hingga 10 tahun sehingga banyaknya kesalahan tidak akan lama menjadi beban masyarakat. Namun, sebagian besar bangunan memiliki umur fungsional paling sedikit 50 tahun. Konsekuensi terhadap keputusan perancangan sekarang akan bersama kita untuk waktu yang sangat lama.

Sayangnya, istilah **konservasi/energi** memiliki konotasi yang negatif. Konsep tersebut menimbulkan pemikiran akan adanya pemotongan dan ketidaknyamanan. Padahal, kenyataannya arsitektur yang mampu menghemat energi justru akan mendukung kenyamanan, berkelanjutan, lebih manusiawi, serta rasa estetika yang menyenangkan. Selain itu, arsitektur tersebut juga menjadi lebih murah daripada arsitektur konvensional. Biaya operasional berkurang karena tagihan energi yang lebih murah, dan pengeluaran pertama yang berkurang karena sedikitnya kebutuhan perangkat pemanas serta pendingin. Untuk menghindari konotasi negatif, digunakan istilah **rancangan hemat energi** atau **rancangan tanggap energi** yang positif dan fleksibel untuk menjelaskan kepedulian konservasi energi di bidang arsitektur. Perancangan hemat energi menghasilkan bangunan yang meminimalkan kebutuhan akan energi yang mahal, berpolusi, serta tidak dapat didaur ulang. Karena dapat menguntungkan bumi, rancangan yang memiliki kepedulian terhadap konservasi energi ini, sering kali dinamakan *sustainable* (berkelanjutan) atau *green* (hijau). Pentingnya kepedulian terhadap energi dalam sebuah perancangan bangunan akan dibahas lebih lanjut pada bab berikut.

1.7 ARSITEKTUR DAN PERANGKAT MEKANIKAL

Pertimbangan berikut ini akan memengaruhi penampilan serta sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan sebuah bangunan: kepadatan (perbandingan luas permukaan dengan volume), ukuran dan lokasi jendela, serta sifat dan karakteristik bahan bangunan yang dipakai. Dengan demikian, saat seorang arsitek merancang penampilan sebuah bangunan, secara bersamaan dia juga akan mulai merancang sistem pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan bangunan tersebut. Karena adanya sebuah hubungan yang tak terpisahkan antara beberapa elemen arsitektural dengan sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan sebuah bangunan, kita dapat menyatakan bahwa pengendalian lingkungan sekitar merupakan faktor pemberi bentuk ***(form-givers)*** dalam arsitektur.

Tidak hanya pada tingkatan pertama dan kedua yang memiliki dampak estetika. Perangkat mekanikal yang diperlukan untuk sistem pemanasan dan pendinginan sering kali mempunyai bentuk cukup besar dan memerlukan akses langsung dengan udara luar. Konsekuensinya, hal

itu akan sangat menonjol jika dilihat dari sisi luar bangunan. Perangkat pencahayaan, walaupun sedikit lebih kecil, akan sama menonjolnya. Dengan demikian, tingkatan tiga juga akan berhubungan langsung dengan arsitektur, maka dari itu, harus diikutsertakan dalam proses awal perancangan.

Instalasi listrik dan pekerjaan pipa tidak memiliki hubungan pemberi bentuk serta hubungan integral yang sama pada arsitektur. Karena kedua sistem ini cukup kecil, padat, dan fleksibel, keduanya akan sangat dengan mudah ditanam pada dinding dan plafon. Dengan demikian, keduanya memerlukan sedikit perhatian atau tidak sama sekali pada tahapan perancangan skematik dan tidak akan dibahas dalam buku ini.

1.8 KESIMPULAN

Sebuah sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan sebuah bangunan terwujud tidak hanya dengan perangkat mekanikal, namun lebih dari perancangan bangunan itu sendiri. Beberapa keputusan dalam proses perancangan yang dapat memengaruhi pengendalian lingkungan ini, memiliki pengaruh yang kuat pada bentuk dan nilai estetika bangunan. Dengan demikian, melalui rancangan, para arsitek memiliki kesempatan untuk secara bersamaan memuaskan keinginan mereka untuk mendapatkan ekspresi estetika, dan bangunan yang hemat dalam pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan. Hanya dengan perancangan arsitektural, bangunan dapat memiliki sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan yang dapat bertanggung jawab serta ramah terhadap lingkungan. Pentingnya faktor ini akan lebih diperjelas pada bab-bab berikutnya, yakni bab tentang daya tahan (*sustainabilty*).

IDE POKOK BAB 1

1. Baik arsitektur vernakular maupun arsitektural formal telah dirancang secara tradisional agar tanggap terhadap kebutuhan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan.
2. Meminjam beberapa solusi perancangan regional dari masa lalu yang sesuai dengan kondisi iklim setempat (contoh: portico klasik yang digunakan untuk mendapatkan sebuah naungan) akan menghasilkan bangunan yang tanggap terhadap lingkungan.
3. Pada perkembangan abad ke-20, hanya para ahli teknik dengan perangkat elektrikal dan mekanikalnya yang tanggap terhadap kebutuhan lingkungan bangunan. Para arsitek telah menangani kebutuhan ini pada masa lalu, dan akan mampu berperan untuk menanganinya lagi di masa depan nanti.
4. Kebutuhan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan sebaiknya dirancang sesuai dengan pendekatan ketiga tingkatan proses yang berikut:
   TINGKAT SATU: merupakan dasar perancangan bentuk dan materi bahan bangunan (oleh sang arsitek)
   TINGKAT DUA: perancangan sistem pasif (sering kali oleh arsitek)
   TINGKAT KETIGA: perancangan perangkat mekanikal dan elektrikal (oleh para ahli teknik)
5. Bangunan menggunakan sekitar 35 persen dari seluruh energi yang dipakai di Amerika Serikat.
6. Saat ini, dinamika perangkat mekanikal menanggapi perubahan yang terus-menerus pada kebutuhan pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan suatu bangsa. Akan ada keuntungan fungsional dan estetika ketika bangunan itu semakin lebih tanggap lingkungan (contoh: perangkat naungan yang dapat bergerak sesuai dengan kebutuhan). Bangunan memang seharusnya dinamis bukan statis.
7. Terdapat potensi estetika yang besar terhadap bangunan yang tanggap energi.

Footnotes

[1]*Cantilever*: tembok penopang yang menganjur keluar

[2]*Bay Windows*: tipe jendela yang menonjol ke depan

[3]*Portico*: tiang-tiang besar penyangga atap yang membentuk teras/tempat berjalan yang terlindungi

[4]*Colonnades*: sederet tiang penopang atap

[5]*Arcades*: barisan lengkungan yang ditopang oleh kolom-kolom

[6]*Basilica*: gereja Kristen kuno yang dibangun menurut gaya arsitektur Romawi

[7]*Parasol*: penutup ringan dipakai untuk perlindungan matahari; menggunakan struktur payung

SUMBER

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

Duly, C. *The Houses of Mankind.*

Banham, R. *The Architecture of the Well-Tempered Environment.*

Brown, G. Z., and M. DeKay. *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies.*

Fathy, H. *Natural Energy and Vernacular Architecture.*

Fitch, J. M., and W. Bobenhausen. *American Building—The Environmental Forces That Shape It.*

Fitch, J. M. *The Architecture of the American People.*

Fitch, J. M. *Shelter: Models of Native Ingenuity.*

Heschong, L. *Thermal Delight in Architecture.*

Konya, *A. Design Primer for Hot Climates.*

Nabokov, P., and R. Easton. *Native American Architecture.*

Olgyay, V. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism.*

Rapoport, *A. House Form and Culture.*

Rudofsky, B. *Architecture Without Architects: A Short Introduction to Non-Pedigreed Architecture.*

Rudofsky, B. *The Prodigious Builders.*

Stein, R. G. *Architecture and Energy.*

Taylor, J. S. *Commonsense Architecture: A Cross-Cultural Survey of Practical Design Principles.*

MAKALAH

Knowles, R. "On Being the Right Size," http://www-rcf.usc.edu/~ rknowles

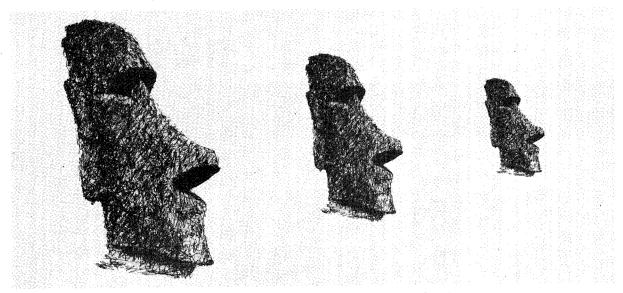
Knowles, R. "Rhythm and Ritual," http://www-rcf.usc.edu/~ rknowles

Knowles, R. "The Rituals of Place," http://www-rcf.usc.edu/~ rknowles

BAB 2

DESAIN YANG BERKELANJUTAN *(SUSTAINABLE DESIGN)*

"Pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable*) adalah pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan masa kini tanpa harus berkompromi dengan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan mereka nanti."

The United Nations World Commission on Environment and Development, Laporan Brundtland,1987

Gambar 2.1 Patung batu yang misterius di Pulau Easter. (Gambar oleh Ethan Lechner)

2.1 PULAU EASTER: BELAJAR DARI MASA LALU

Pulau Easter telah lama mengagumkan para arkeolog. Saat pulau kecil yang terletak 2.000 mil (3.200 km) dari kontinen terdekat ini "ditemukan" pada hari Paskah (*Easter*) tahun 1722, sekitar 200 patung batu sangat besar yang sebagian di antaranya memiliki ketinggian lebih dari 9,9 m dan berat lebih dari 80 ton, berdiri di atas pulau ini.

Saat ditemukan, pulau ini sudah merupakan tanah limbah biologi. Selain tikus dan ayam yang telah dikenal, tidak ada spesies binatang lain yang lebih tinggi dari serangga dan sedikit spesies tanaman – lebih banyak rumput dan semak – dengan ketinggian tidak lebih dari 3,3 m. Tidak ditemukan pula cara yang dapat dilihat dengan jelas bagaimana para penduduk yang berjumlah 2.000 orang tersebut, dapat memindahkan dan mengangkat patung-patung tersebut ke pulau.

Berdasarkan hasil analisis serbuk sari kuno, para peneliti telah menyimpulkan bahwa pulau tersebut pada zaman dahulu adalah pulau yang tersisa dari dua pulau yang sangat berbeda, yaitu saat penduduk *Polynesian*[1] pertama kali datang sekitar 400 A.D. Saat itu pulau ini merupakan sebuah surga subtropis yang sangat kaya dengan keanekaragamannya. Pohon palem Pulau Easter ini bisa menjulang tinggi hingga 9,9 m dan sangat ideal jika diukir menjadi sebuah kano untuk memancing dan untuk membuat patung. Selain kekayaan dalam keanekaragaman tanaman, tampaknya pernah ada sedikitnya dua puluh lima spesies burung yang bersarang.

Sekarang kita percaya bahwa penduduk Pulau Easter telah mengeksploitasi sumber daya alam mereka, yaitu semua spesies binatang tingkat tinggi serta banyak spesies tanaman, hingga titik kepunahan. Ekosistem pulau tersebut kemungkinan besar dirusak secara perlahan-lahan dan berantai. Sebagai contoh, karena punahnya beberapa spesies burung, maka pohon yang bergantung dengan burung tersebut untuk proses polinasi tidak lagi mampu untuk bereproduksi. Hilangnya hutan menyebabkan daratan menjadi erosi dan mengangkat makanan bergizi ke luar terbawa laut.

Para peneliti mempercayai bahwa jumlah penduduk sempat memuncak hingga 20.000 orang yang hidup dalam struktur organisasi sosial yang cukup tinggi. Namun, saat makanan (atau kemampuan untuk mendapatkan makanan) mulai menjadi langka, struktur ini mulai terpecah-belah menjadi beberapa suku yang saling bermusuhan. Hingga tahun 1722 jumlah penduduk pulau tersebut telah menurun hingga tinggal 2.000 orang saja.

Mengapa saat itu penduduk Pulau Easter ini tidak juga menyadari apa yang sedang terjadi terhadap mereka? Jared Diamond menyatakan di majalah *Discover* tahun 1995 bahwa terjadinya keruntuhan ini tidak secara langsung, tetapi secara perlahan-lahan. Usaha mereka dalam pembuatan kapal, tali, dan perangkat pendorong kayu gelondong musnah setelah sekian tahun, bahkan para penduduk tidak juga melihat apa yang sedang terjadi dan juga tidak memiliki kemampuan untuk menanggapinya.

Akankah umat manusia secara keseluruhan dapat memperlakukan bumi ini jauh lebih baik dibanding dengan penduduk Polinesia terhadap Pulau Easter mereka? Banyak politisi dan pembawa acara '*talk-show*' menyatakan bahwa tiada batas dalam suatu perkembangan –sedangkan para pakar lingkungan hidup akan menyatakan kebalikannya. Namun, Pulau Easter telah memperlihatkan kepada kita bahwa batasan adalah nyata. Janganlah menunggu hingga terlambat dalam penanganan keterbatasan kita ini.

Dipersingkat dengan izin dari Alex Wilson, Editor dan Penerbit, *Environmental Building News* (*EBN*).* Versi lengkap artikel ini dimuat di *EBN*, Volume 4, Nomor 5, September/ Oktober 1995.

**Environmental Building News* merupakan sebuah tabloid bulanan untuk para arsitek dan pembangun yang berdedikasi terhadap perbaikan keberlangsungan bangunan serta lingkungan buatan (lihat Lampiran J untuk alamat)

Gambar 2.2a Lampu pada malam hari di Amerika Serikat yang terlihat dari satelit ini jelas menunjukkan penuhnya jumlah penduduk di negara ini. (Gambar ini berasal dari data Satelit Program Badan Meteorologi) www.ngdc.noaa.gov/dmsp.)

2.2 RANCANGAN YANG BERKELANJUTAN (*SUSTAINABLE DESIGN*)

Dalam jangka panjang, rancangan yang berkelanjutan (*sustainable*) bukan merupakan suatu pilihan, melainkan suatu kebutuhan yang harus dipenuhi. Bumi ini berpenduduk 6 miliar orang, dan sekarang posisi tingkat ketegangan kondisi kita semakin menyerupai tingkat ketegangan yang dibuat oleh 20.000 penghuni Pulau Easter. Kita secara harafiah telah memenuhi bumi ini dengan manusia (lihat Gbr. 2.2a). Kita sedang menghabiskan lahan dan sumber air kita; keanekaragaman kita dirusak; kita mencemari darat, air, dan udara; dan kita telah mengubah iklim yang dapat berakibat sangat fatal.

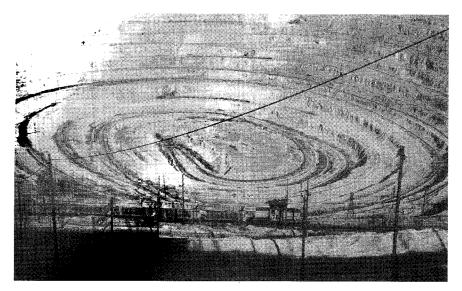
Untuk jangka pendek, tampaknya kita tidak wajib menerapkan perancangan yang berkelanjutan, namun itu merupakan pernyataan yang benar jika kita mengabaikan masa depan. Kita menggunakan sumber daya alami hingga hampir habis dan mencemari bumi ini tanpa mempertimbangkan kebutuhan anak-anak kita nanti (Gbr. 2.2b).

The World Congress of Architects di Chicago, Amerika Serikat, Juni, 1993, menyatakan sebagai berikut.

> Berkelanjutan (*sustainability*) berarti memenuhi keperluan generasi masa kini tanpa harus berkompromi dengan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan mereka. Sebuah masyarakat berkelanjutan akan mengembalikan, melindungi, dan melestarikan alam serta kebudayaan demi kepentingan semua pihak, baik untuk masa kini maupun untuk masa depan nanti; lingkungan yang beraneka ragam dan sehat adalah yang bernilai dan penting untuk sebuah masyarakat yang sehat; masyarakat saat ini, sangat merendahkan lingkungan dan tidak berkelanjutan.

Terdapat beberapa cara untuk menggambarkan sebuah desain berkelanjutan. Salah satu proses pendekatannya menekankan pada penggunaan istilah "*4-R*", yaitu:

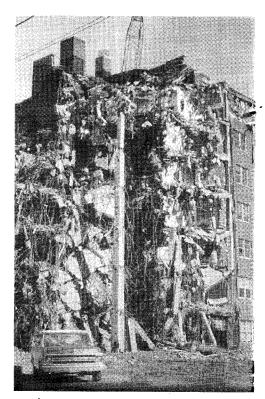
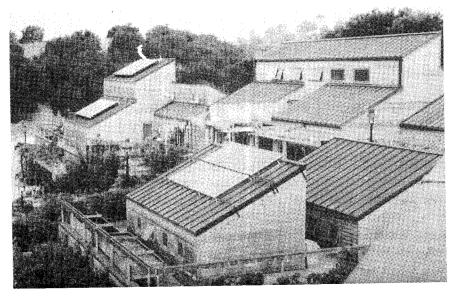
reduce (mengurangi)
reuse (menggunakan kembali)
recycle (daur ulang)
regenerate (memperbarui)

Buku ini akan lebih memfokuskan pembahasan pada "R" yang pertama, yaitu "*reduce*" (mengurangi). Walupun kata "*reduce*" (mengurangi) kemungkinan akan memicu gambaran terhadap sesuatu yang hilang, aplikasinya

Gambar 2.2b Tempat yang tadinya terletak sebuah gunung, sekarang terdapat sebuah lubang besar. Manusia sekarang secara harafiah dapat memindahkan gunung hanya untuk memenuhi nafsu kebutuhan sumber daya alam mereka. Untuk gambaran skala ukuran, perhatikan sebuah kereta yang berada di ujung. Gua yang berada di bawah lubang di Utah ini berfungsi untuk kereta membawa biji ke tempat peleburan di dekat pegunungan.

akan lebih diutamakan pada pengurangan pemborosan ataupun segala sesuatu yang berlebihan. Sebagai contoh, ukuran rumah di Amerika Serikat telah meningkat dua kali lipat semenjak tahun 1950, dan meski sebuah unit keluarga sekarang sudah lebih kecil, peningkatan ukuran per orang adalah 2,8. Apakah ini benar-benar dibutuhkan? Pertimbangkan seberapa tidak efisiennya sebuah rumah konvensional, saat sebuah rumah contoh di Lakeland, Florida, mengurangi pemborosan energi sebesar 80 persen (FSEC, 1998). Beberapa cara yang terbukti pada bidang pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan akan sangat membantu mengurangi penggunaan energi pada bangunan komersial sebesar 50 persen, dan dengan usaha yang lebih, pengurangan hingga 80 persen dapat dimungkinkan. Kita memiliki ilmu pengetahuan, alat, serta bahan untuk mengurangi penggunaan energi secara besar-besaran dengan merancang bangunan yang lebih efisien. Contoh yang paling mutakhir adalah rumah/kantor Lovin di Snowmass, Colorado, yang menggunakan lebih dari 99 persen pemanasan pasif. Walaupun fokus utama buku ini adalah konsep mengurangi (*reduce*) dalam sebuah perancangan, industri bangunan dapat juga memanfaatkan tiga teknik berkelanjutan lainnya, yang akan dibahas sekilas pada bagian berikut ini.

2.3 MENGGUNAKAN ULANG, MENDAUR ULANG, SERTA MEMPERBAHARUI DENGAN RANCANGAN

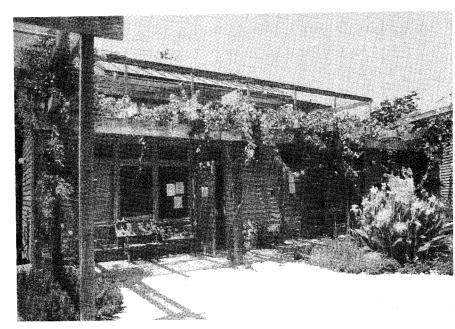
Gambar 2.3a memperlihatkan sebuah gambaran yang cukup sering dapat dilihat, yakni sebuah gedung yang sedang diruntuhkan. Sementara itu, bangunan tersebut seharusnya masih dapat direnovasi dan **digunakan ulang (*reused*)**. Contoh yang sangat baik adalah *Audubon Society Head Quarters* yang merupakan contoh kasus klasik mengenai renovasi "hijau" (*"green" renovation*) dari sebuah gedung perkantoran di kota New York. Buku dan video mengenai proyek ini dapat diperoleh (lihat bagian sumber di akhir bab ini).

Walaupun gedung pada Gambar 2.3a tidak dapat diselamatkan, gedung tersebut tetap

Gambar 2.3a Bangunan yang direncanakan untuk dihancurkan sebaiknya dimanfaatkan ulang dengan melaksanakan renovasi atau didaur ulang melalui proses dekonstruksi.

Gambar 2.3b *Regenerative Research Centre* di Cal Poly Pomona, didirikan untuk mengajari serta menyelidiki cara memulihkan kembali planet ini. Bangunan di kompleks ini berorientasi ke selatan dengan sedikit atau sama sekali tidak ada jendela yang menghadap ke barat. Bentuk atap yang digunakan juga menghadap selatan untuk mendukung sistem yang memanfaatkan tenaga matahari untuk air panas serta panel *photovoltaic* pada masa depan.

dapat **didaur ulang**. Dengan proses dekonstruksi, bangunan ini tetap dapat dipisahkan bagian komponennya, dan bagian tersebut dapat didaur ulang (beton, baja, kayu, dll.) atau dimanfaatkan ulang (jendela, pintu, bata, dll.). Bahkan, sebagian besar bangunan berakhir sebagai reruntuhan rata dengan tanah dan hilang seluruh sumber daya dan energi bangunan tersebut (lihat Bagian 3.23).

"R" yang keempat yakni ***regenerate* (memperbarui)**, berhubungan dengan kenyataan bahwa sebagian besar bumi ini sudah berada pada titik kondisi yang terpuruk dan perlu dipulihkan. Karena sedikitnya pengetahuan kita tentang bagaimana memulihkan bumi ini, maka didirikanlah *Regenerative Research Centre* di Cal Poly Pomona yang dipelopori John T. Lyle sebagai pendiri (lihat Gbr. 2.3b). Para peserta mahasiswa Cal Poly Pamona turun ke lapangan untuk mempelajari dan menyelidiki cara menjalani kehidupan yang berkelanjutan (*sustainable*) serta gaya hidup yang cenderung akan hidup kembali (*regenerative*). Baik lanskap maupun arsitektur bangunan pusat ini –misalnya, memanfaatkan tanaman yang berbuah sebagai elemen yang menaungi– dirancang dengan hati-hati untuk mendemonstrasikan serta mengeksplorasi teknik hijau (Gbr. 2.3c).

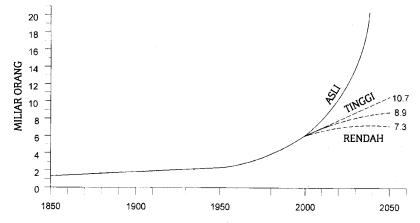
2.4 GERAKAN HIJAU

Permasalahan yang berhubungan dengan berkelanjutan (*sustainability*) semuanya tampak mengelilingi banyak hal sehingga banyak orang merasa membutuhkan kata yang lain. Kata **hijau** (***green***) sering kali digunakan karena memiliki penekanan makna kata yang lebih lentur dan

Gambar 2.3c *The Centre for Regenerative Studies* (Foto oleh Walter Grondzik)

melambangkan alam yang berkelanjutan. Dengan alasan yang sama, ada juga yang menggunakan kata **ekologis**. Namun, banyak juga yang memilih menggunakan istilah **bertanggung jawab terhadap lingkungan**. Semua kata yang disebut di atas memang berbeda, namun memiliki tujuan yang sama.

Masyarakat dunia sekarang memiliki kesadaran lebih terhadap pentingnya permasalahan ini dan banyak langkah penting yang telah dilaksanakan dalam usaha penanganannya. Usaha yang paling berhasil untuk saat ini adalah Protokol Montreal tahun 1987, di mana masyarakat sedunia dengan cepatnya menyetujui dan bertindak menghilangkan kloroflurokarbon yang dapat merusak lapisan ozon sehingga bumi ini terekspos sinar ultraviolet yang membahayakan, dan dapat menyoroti hingga memasuki bumi. Dengan bahaya yang sangat jelas dan sudah berada di ambang pintu, perlu dilakukan banyak langkah penting.

Pada tahun 1992, perkumpulan para pemimpin dunia yang terbesar dalam sejarah bertemu pada KTT Bumi (Earth Summit) di Rio de Janeiro untuk mendukung prinsip pembangunan yang berkelanjutan. Banyak pertemuan lainnya yang telah menyampaikan perlunya perbaikan lingkungan hidup. The American Institute of Architects telah mendirikan sebuah Komite Lingkungan untuk membantu para arsitek memahami masalah yang ada serta bagaimana menanggapinya sehingga dapat terwujud sebuah dunia yang berkelanjutan. Pada tahun 1997, beberapa negara mengadakan pertemuan di Kyoto, Jepang, untuk menyetujui sejumlah cara nyata yang berhubungan dengan pemanasan bumi (*global warming*).

William McDonough dan Michael Braungart, dua individu kreatif yang mendukung tantangan ini telah mengajukan "Revolusi Industrial di Masa Mendatang" (*"Next Industrial Revolution"* –McDonough & Braungart, 1998), saat efektivitas ekologi (*eco-effectiveness*) akan memimpin. Mereka menyatakan bahwa Revolusi Industrial yang berikutnya akan berdasarkan tiga prinsip utama: **sampah sama dengan makanan** (misalnya, semua hasil sampah harus digunakan sebagai bahan dasar sebuah proses), **rasa hormat untuk keanekaragaman ekologi dan manusia, serta pemanfaatan tenaga matahari.**

Gambar 2.5 Terdapat variasi terhadap perkiraan jumlah penduduk karena prediksi pertumbuhan yang sesungguhnya dengan suatu kepastian adalah mustahil. (*After "World Population Prospects: The 1998 Revision"*, New York, Desember, 1998.)

2.5 JUMLAH PENDUDUK DAN KEBERLANJUTAN (*SUSTAINABILITY*)

Pada tahun 1999 jumlah penduduk bumi mencapai enam miliar. Terdapat beberapa estimasi terhadap laju pertumbuhan jumlah penduduk, seperti yang terlihat pada Gambar. 2.5. Sebuah pertanyaan yang pantas diajukan adalah seberapa banyakkah bumi ini sanggup menampung manusia? Jawaban atas pertanyaan ini tergantung pada tanggapan dari pertanyaan selanjutnya. Apakah kapasitas bumi ini akan dapat dipertahankan dan apa yang akan menjadi dasar patokan kehidupan?

Daya tahan populasi atau **daya kapasitas** bumi ini mungkin telah melewati batas maksimal. Dengan berasumsi bahwa kita mampu melakukan beberapa perubahan untuk mempertahankan jumlah penduduk saat ini diperlukan optimisme yang sangat tinggi. Teknologi bukan menjadi solusi langsung karena sering kali kita melihat bagaimana usaha perbaikan dengan teknologi dapat juga menghasilkan beberapa masalah yang baru (misalnya, lubang ozon dan "*global warming*"/

pemanasan global). Solusi lainnya yang sering kali dinyatakan adalah bahwa manusia sebaiknya mengurangi jumlah daging yang dimakan karena itu merupakan cara memberi makan kepada manusia yang tidak efisien. Hal ini mengantar kita pada poin kedua: "Tingkat kemakmuran seperti apa yang diinginkan oleh masyarakat bumi ini?"

Paul Ehrlich dan John Holden mengajukan hubungan berikut:

$$I = P \times A \times T$$

Di mana:

I = Pengaruh Lingkungan Hidup (*Environmental Impact*)
P = Jumlah Penduduk (*Population*)
A = Kemakmuran per orang (*Affluence per person*)
T = Teknologi

Hubungan ini secara jelas memperlihatkan bahwa semakin besar jumlah penduduk, semakin besar juga pengaruhnya terhadap lingkungan. Hubungan ini juga menunjukkan bahwa semakin besar kemakmuran di masyarakat, semakin besar pengaruhnya terhadap lingkungan. Sebagai contoh, seseorang yang menyetir mobil akan jauh lebih memengaruhi lingkungan hidup dibanding dengan seseorang yang sedang berjalan kaki. Harus juga kita perhatikan bahwa semakin besar jumlah penduduk, semakin kecil pula kemakmuran. Dengan demikian, saat standar kehidupan yang diinginkan meningkat, kebutuhan untuk menghentikan pertumbuhan jumlah penduduk pun semakin besar.

Teknologi juga mempunyai pengaruh besar terhadap lingkungan. Saat ini seseorang akan memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap lingkungan dibanding seseorang pada beberapa abad yang lalu. Saat itu tidak ada mobil, angkutan udara, AC, peralatan listrik, penerangan listrik yang melimpah, dan sebagainya. Meskipun beberapa teknologi tidak boros dibanding yang lainnya, semua teknologi memengaruhi lingkungan.

Mencoba menciptakan standar hidup yang tinggi untuk penduduk dunia tanpa kendali populasi "seolah-olah merupakan satu usaha untuk membangun gedung pencakar langit 100 tingkat dari material yang bagus, tetapi seseorang lupa meletakkan fondasi." (Burlett, 1997)

2.6 PERTUMBUHAN

Seperti yang telah kita amati, baik pertumbuhan jumlah penduduk maupun kemakmuran telah mewujudkan tekanan pada planet ini. Terdapat sejumlah dampak bagi lingkungan hidup yang berasal dari peningkatan pemakaian petroleum, kayu, beton, air, dan semua hal lainnya. Dengan demikian, apakah kita masih bisa berpikir positif terhadap pertumbuhan? Sebagian besar politikus terpilih dengan menjanjikan adanya pertumbuhan. Sebagian besar masyarakat berpikir bahwa pertumbuhan sebesar lima persen merupakan ide yang cukup bagus, namun sadarkah mereka dengan adanya pertumbuhan stabil lima persen per tahun, maka masyarakat akan berlipat ganda setiap empat belas tahun? Waktu lipat ganda (*doubling time*) untuk setiap laju pertumbuhan tetap, dapat dengan mudah ditentukan. Lihat Kotak 2.6.

Pertumbuhan merupakan hal yang sangat populer berdasarkan beberapa hal: banyak orang memiliki kehidupan yang cukup baik berdasarkan pertumbuhan; pada umumnya, kita percaya bahwa sesuatu yang besar merupakan sesuatu yang lebih baik; dan kita tidak memiliki pemahaman penuh terhadap akibat jangka panjang dari sebuah pertumbuhan.

Marilah kita lihat alam sebagai petunjuk untuk tipe pertumbuhan yang kita inginkan. Sebagian besar makhluk hidup tumbuh hingga dewasa. Di alam, pertumbuhan tanpa batas dilihat sebagai hal yang patologis. Penulis di bidang lingkungan hidup Edward Abbey menyatakan: "Tumbuh demi pertumbuhan merupakan ideologi sel kanker." Alam menyarankan pertumbuhan terus berlanjut hingga kondisi dewasa dapat tercapai, lalu fokus utama untuk kita seharusnya pada perbaikan nilai kualitas bukan kuantitas.

KOTAK 2.6

Untuk menentukan setiap waktu lipat ganda (*doubling time*) laju sebuah pertumbuhan tetap, gunakan persamaan berikut:

$$T_2 = 70/G$$

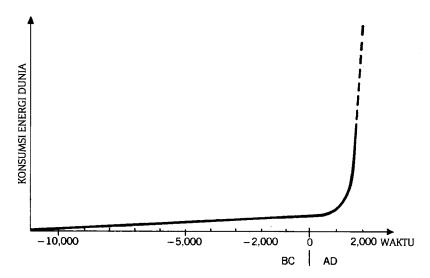
Di mana: T_2 = Waktu lipat ganda
G = Laju pertumbuhan dalam persen

Laju pertumbuhan yang tetap bukan berarti pertumbuhan yang stabil. Kesalahpahaman ini merupakan alasan utama ketidakmampuan kita dalam merancang masa depan dengan baik dan benar. Sebagai contoh, jika jumlah populasi dunia dari tahun 1975 berlanjut dengan laju pertumbuhan 1,9 persen (laju yang kecil?), maka akan tumbuh hingga terdapat satu orang untuk setiap meter persegi tanah kering di bumi ini dalam kurun waktu hanya 550 tahun (Bartlett, 1978).

Ini merupakan contoh kekuatan dari pertumbuhan nonlinear (*exponential*).

2.7 PERTUMBUHAN NONLINEAR (*EXPONENTIAL*)

Karena buku ini membahas pemanasan, pendinginan, serta pencahayaan, mari kita perhatikan laju pertumbuhan pemanfaatan energi selama 10.000 tahun ini (Gbr. 2.7). Seperti pada semua kurva nonlinear (*exponential*), pertumbuhan sangat lambat dalam jangka waktu yang sangat lama. Namun, secara tiba-tiba pertumbuhan itu menjadi sangat cepat dan lepas kendali. Karena implikasi pertumbuhan ini cukup menyeramkan, maka sangat penting untuk lebih mendalami konsep ini.

Kita memiliki intuisi yang baik terhadap hubungan yang linear dan bergaris lurus. Kita mengetahui jika diperlukan jangka waktu satu menit untuk mengisi penuh satu guci air, akan diperlukan lima menit untuk memenuhi lima guci. Kita tidak memiliki intuisi pemahaman seperti ini untuk hubungan nonlinear (*exponential*). Namun, beberapa perkembangan manusia sangat penting karena berhubungan langsung dengan hubungan yang nonlinear. Jumlah penduduk, proses yang menghabiskan sumber daya dan konsumsi energi, semuanya memiliki laju pertumbuhan nonlinear dan grafik mereka berbentuk kurang lebih seperti pada Gambar. 2.7.

Gambar 2.7 Pertumbuhan nonlinear (*exponential*) dalam konsumsi energi dunia sangat mirip dengan pertumbuhan jumlah penduduk

2.8 ANALOGI AMOEBA*

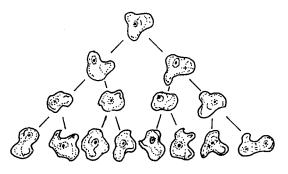
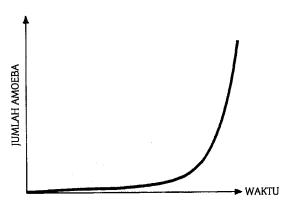
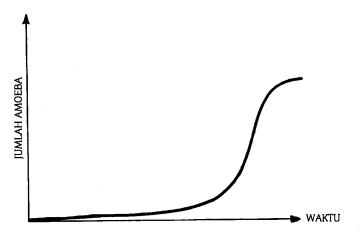
Sebagai contoh, sebuah amoeba yang bersel satu membelah sekali menjadi dua untuk periode setiap menitnya. Laju pertumbuhan amoeba ini akan menjadi nonlinear, seperti digambarkan pada Gambar. 2.8a. Jika kita membentuk sebuah grafik pertumbuhan ini, akan dihasilkan kurva eksponensial seperti yang terlihat pada Gambar. 2.8b. Sekarang, marilah kita mengandaikan bahwa kita memiliki sebuah botol dengan ukuran tertentu (sebuah sumber daya) dan akan memerlukan sepuluh jam agar penuh dengan amoeba. Dengan kata lain, jika kita menempatkan satu amoeba dalam satu botol dan amoeba tersebut akan membelah setiap menit, maka dalam jangka waktu sepuluh jam, botol tersebut akan terisi penuh dengan amoeba, dan seluruh ruang akan terpakai habis.

Pertanyaan: Berapa lama waktu yang diperlukan agar amoeba dapat mengisi hanya tiga persen dari sebuah botol?

A. 18 menit (3 persen dari 10 jam)
B. sekitar satu jam
C. sekitar 5 jam
D. sekitar 8 jam
E. 9 jam dan 55 menit

Karena amoeba akan mengganda setiap menitnya, marilah kita berhitung mundur mulai dari akhir.

Waktu	Persentase botol yang telah terpakai	
10:00	100 persen	
9:59	50 persen	
9:58	25 persen	
9:57	12 persen	
9:56	6 persen	
9:55	3 persen	Jawabannya

*Berdasarkan hasil kerja Albert A. Bartlett (Bartlett, 1978)

Gambar 2.8a Pertumbuhan eksponensial amoeba

Gambar 2.8b Pertumbuhan eksponensial amoeba secara teoretis

Gambar 2.8c Pertumbuhan koloni amoeba yang sesungguhnya

Untuk amoeba, ruang pada botol merupakan sumber daya yang sangat bernilai. Menurut Anda, apakah amoeba ini akan mendengarkan teori bahwa dalam waktu 9 jam dan 55 menit ruang dalam botolnya sebentar lagi akan berakhir? Pasti tidak –mereka akan tertawa. Karena hanya 3 persen dari sumber daya mereka yang sangat berharga ini, yang dimanfaatkan, pastinya akan masih ada waktu yang lama sebelum semua berakhir.

Tentu saja, beberapa amoeba yang mau berusaha akan ke luar mencari botol yang lain. Jika mereka menemukan tiga botol, maka mereka akan meningkatkan sumber daya hingga 400 persen dari yang terdahulu. Jelas itu merupakan salah satu cara untuk menanggulangi kekurangan mereka. Benarkah?

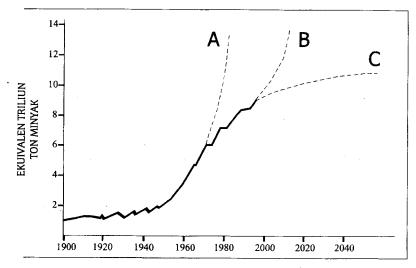
Pertanyaan: Berapa waktu lebih yang diperoleh dari peningkatan 400 persen tersebut?

Jawaban: Karena amoeba mengganda setiap menit, tabel berikut akan menggambarkan cerita yang menyedihkan.

Waktu	Persentase botol yang telah terpakai
10:00	100 persen
10:01	200 persen
10:02	400 persen

Amoeba ini hanya memerlukan dua menit untuk mencari tiga botol baru. Jelas bahwa tidak ada gunanya memenuhi kebutuhan sumber daya yang diperlukan untuk mempertahankan pertumbuhan eksponensial pada tingkat akhir. Dengan demikian, apa solusinya?

Di alam, tidak ada yang dimaksud dengan pertumbuhan eksponensial tanpa batas. Sebagai contoh, pertumbuhan sebuah amoeba tampaknya mengikuti **kurva "S"**. Walaupun pertumbuhan tersebut dimulai dengan laju yang eksponensial, dengan cepat pertumbuhan tersebut meningkat, seperti yang terlihat pada Gambar. 2.8c. Amoeba tersebut tidak hanya akan kehabisan makanan, tetapi juga akan meracuni diri mereka dengan kotoran mereka sendiri. Karena manusia tidak di atas alam, mereka tidak akan bisa mendukung pertumbuhan eksponensial lebih lama lagi. Jika manusia tidak bisa mengendalikan pertumbuhan, maka alam dengan sendirinya akan mengambil alih dan mengurangi pertumbuhan dengan terjadinya polusi, penipisan sumber daya, kelaparan, penyakit, serta perang tanpa batas waktu.

Hingga 1973, pertumbuhan konsumsi energi mengikuti kurva nonlinear A pada Gambar. 2.8d. Setelah itu, dengan mulainya krisis energi pada tahun 1973,

Gambar 2.8d Jalur pilihan untuk konsumsi energi dunia di masa depan: (A) sebuah trend sejarah yang tidak diambil karena kirisis energi pada tahun 1973; (B) trend jika kebiasaan pembuangan limbah kembali; (C) trend jika konservasi dan penghematan berlanjut untuk mengarahkan peraturan kita. (*After: "State of the World, 1999,"* Gbr. 2.5, *A Worldwatch Institute Report.*)

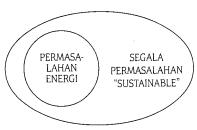
konsumsi energi bergerak menjadi kurva berbentuk "S". Pada awalnya, terjadi kekurangan, lalu dilakukan strategi penghematan yang secara dramatis mengurangi pertumbuhan. Sikap kita terhadap pertumbuhan konsumsi energi akan menentukan apakah kita akan mengikuti kurva eksponensial yang berbahaya seperti pada kurva B atau pola pertumbuhan yang lebih masuk akal/bijaksana. Seperti yang bisa kita lihat pada kurva C.

2.9 PRODUKSI VS PENGHEMATAN (KONSERVASI)

Hukum pertumbuhan eksponensial secara jelas menyatakan bahwa kita dapat menyamakan produksi energi dengan permintaan meskipun kita membatasi pertumbuhan permintaannya. Lagipula, ternyata penghematan (konservasi) jauh lebih menarik daripada peningkatan terhadap penyediaan ekonomi maupun lingkungan. Harvard School of Business telah menerbitkan sebuah laporan utama berjudul *Energy Future* (Stobaugh and Yerkin, 1979), yang dengan jelas memperlihatkan banyak keuntungan dari segi ekonomi konservasi (penghematan). Laporan ini menyimpulkan bahwa gabungan antara konservasi dengan pemanfaatan energi matahari merupakan solusi terbaik untuk menghadapi masalah kita ini. Pada pembahasan kita mengenai sumber energi berikutnya, akan tampak jelas bahwa hampir setiap sumber energi mengikutsertakan beberapa kerugian lingkungan hidup.

Keuntungan ekonomis penghematan akan ditunjukkan melalui contoh berikut. Pemerintahan daerah Tenesse Valley (Tenesse Valey Authority/TVA) telah dihadapkan pada kekurangan tenaga listrik untuk perkembangan ekonomi daerah lembah ini. Cara pertama untuk mengatasi masalah ini adalah membangun sebuah pusat tenaga listrik yang baru. Namun, akhirnya sebuah pendekatan yang kreatif memperlihatkan bahwa melakukan penghematan tenaga listrik merupakan solusi yang jauh lebih baik dan lebih murah. TVA meminjamkan cukup uang untuk para penghuninya sehingga dapat menghangatkan rumah mereka masing-masing. Walaupun para penghuni tetap harus mengembalikan pinjaman tersebut, tagihan listrik bulanan mereka jauh lebih rendah daripada sebelumnya karena tagihan pengurangan energi dapat dikompensasikan untuk menambah pembayaran pinjaman. Karena adanya pengurangan penggunaan tenaga listrik, TVA sekarang memiliki surplus tenaga listrik yang dapat dijual dengan harga murah; para pelanggan membayar lebih murah untuk mendapatkan rumah yang hangat; dan semua orang memiliki lingkungan yang lebih baik karena tidak lagi ada pusat tenaga listrik baru yang harus dibangun. Penghematan merupakan sebuah strategi yang membuat semua orang beruntung.

2.10 PERMASALAHAN PADA RANCANGAN BERKELANJUTAN (*SUSTAINABLE DESIGN*)

Menciptakan sebuah bangunan hijau berkelanjutan *(a sustainable green building)* melibatkan beberapa aspek perancangan yang memerlukan lebih dari satu buku untuk membahasnya. Walaupun demikian, terdapat satu topik cukup penting yang akan dibahas di dalam buku ini, yakni energi (Gbr.2.10).

Gambar 2.10 Segala permasalahan energi merupakan himpunan bagian dari semua permasalahan berkelanjutan (hijau) karena pemanasan global *(global warming)*.

Pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan semua dapat dilaksanakan dengan memindahkan energi ke dalam atau ke luar bangunan. Seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya, sektor bangunan menggunakan 35 persen dari semua energi yang digunakan di Amerika Serikat. Karena adanya kenaikan suhu pada bumi (*global warming*), polusi udara, dan pengurangan sumber tenaga, himpunan permasalahan energi berkelanjutan merupakan hal paling penting yang harus diperhatikan.

Buletin *Environmental Building News* telah menyatakan bahwa terdapat sebelas masalah paling penting dalam perancangan yang dapat dipertahankan. Berikut daftarnya. Perhatikan bahwa hal utama yang harus didahulukan adalah Rancangan Hemat Energi dan membangun bangunan hemat energi. Walaupun buku ini hanya membahas masalah yang pertama, keseluruhan daftar ini telah dibuat kembali karena isinya yang padat, namun mudah dimengerti.

Daftar Prioritas untuk Bangunan Berkelanjutan (*Sustainable Building*)*

1. **Hemat Energi**: merancang dan membangun bangunan hemat energi.
2. **Bangunan Daur-ulang**: memanfaatkan ulang bangunan yang ada serta infrastrukturnya daripada menggunakan ruang terbuka.
3. **Membangun Masyarakat**: merancang masyarakat untuk mengurangi ketergantungan pemakaian kendaraan bermotor serta mendorong kepekaan masyarakat sekitar.
4. **Mengurangi Pamakaian Bahan**: mengoptimalkan rancangan yang menggunakan ruang lebih kecil serta memanfaatkan materi dengan lebih efisien.
5. **Melindungi dan Meningkatkan Mutu Lahan**: menjaga kelestarian dan mengembalikan ekosistem lokal dan keanekaragaman.
6. **Memilih Bahan Bangunan yang Berdampak Paling Rendah terhadap Lingkungan**: menggunakan materi bangunan yang berdampak paling kecil terhadap lingkungan dan juga bahan dengan sumber efisien.
7. **Memaksimalkan Umur Panjang**: merancang agar dapat bertahan lama dan mudah beradaptasi.
8. **Menyelamatkan Air**: merancang bangunan serta ruang luar yang hemat air.
9. **Membuat Bangunan Sehat**: menghasilkan lingkungan ruang dalam yang aman serta nyaman.
10. **Meminimalisasi Sampah Konstruksi dan Sampah Hasil Penghancuran Bangunan**: mengembalikan, memakai ulang, serta mendaur ulang sampah dari bidang pekerjaan dan mempraktikkan sifat peduli lingkungan.
11. **"Menghijaukan" Bisnis Anda**: meminimalkan dampak lingkungan di tempat Anda bekerja dan menyebarluaskan konsep ini.

2.11 PERUBAHAN IKLIM

Telah tertulis sebelumnya bahwa masalah energi berhubungan dengan masalah proses pemanasan pada bumi *(global warming)*. Laporan tahun 1995 mengenai "Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)", berdasarkan hasil kerja 2.500 ilmuwan yang berasal lebih dari 60 negara, menyimpulkan bahwa "keseimbangan dari bukti yang ada menyatakan bahwa terdapat pengaruh manusia yang dapat dilihat pada iklim bumi." Laporan ini juga menyatakan bahwa bumi sudah memanas hingga 2°F (lihat Gbr.2.11a -grafik atas), dan perkiraan yang paling utama adalah bahwa suhu udara akan naik 2°F hingga 6,5 °F lagi dalam kurun waktu 100 tahun mendatang.

Penyebab proses pemanasan bumi ini bukanlah sebuah misteri,

*Telah dicetak ulang dengan izin dari Environmental Building News (EBN).; September / Oktober, 1995, untuk mendapatkan pembahasan yang lebih mendalam dari beberapa masalah yang telah tertera di atas, dan juga lihat Lampiran J untuk informasi lebih lanjut mengenai EBN.

jika kita lihat dari sisi peningkatan gas efek **rumah kaca** (*greenhouse*), karbon dioksida (CO_2) pada periode yang bersamaan (lihat Gambar. 2.11a –grafik bawah). Manusia juga ikut menghangatkan bumi ini dengan menghasilkan metana, nitrus oksida (*methane, nitrous oxide*), serta gas efek rumah kaca lainnya. Beberapa pemanasan yang terjadi berasal dari karbon dioksida yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar batu bara, minyak, dan gas alam. Penjelasan lebih lanjut mengenai efek rumah kaca akan dilakukan pada pembahasan bab berikutnya.

Peningkatan suhu bumi, walaupun kecil tetap dapat menghasilkan efek samping yang cukup serius pada musim panas yang sangat panas. Pola hujan juga akan berubah yang dapat berakibat langsung pada bidang pertanian, beberapa wilayah yang paling miskin serta paling padat penduduk akan menjadi korban. Di beberapa wilayah akan mengalami musim kering, sedangkan di beberapa wilayah yang lain akan terjadi banjir. Penyakit seperti malaria akan berkembang di daerah beriklim hangat dan menyebar ke seluruh dunia serta berakibat pada punahnya beberapa spesies yang berdampak lebih negatif lagi terhadap ekologi masa kini. Selain itu, yang paling penting adalah akan terjadi kenaikan permukaan laut. Peningkatan antara 1—3 kaki sudah pasti akan terjadi akibat pemuaian air yang memanas. Peningkatan 3 kaki air dapat membanjiri Bangladesh dengan jumlah penduduk hingga 70 juta dan daerah Pantai Miami (*Miami Beach*) akan terendam di bawah permukaan laut. Peningkatan yang lebih besar dapat terjadi akibat lumernya beberapa lempengan es. Peningkatan setinggi 10 hingga 30 kaki kemungkinan dapat terjadi jika lapisan es di Greenland dan Antartika lumer. Proses peningkatan setinggi ini akan merendam seluruh bagian selatan Florida dan 25 persen dari wilayah Louisiana.

Gambar 2.11a Grafik paling atas mewakili peningkatan suhu rata-rata sedunia dan grafik bawah mewakili peningkatan gas karbon dioksida (CO2) pada periode waktu yang sama. (Sumber data suhu dari Goddard Institute for Space Studies; data karbon dioksida dari Scripps Institution of Oceanography.)

Salah satu alasan ketidakpastian terhadap kecepatan dan seberapa jauh proses kenaikan panas suhu bumi ini adalah perubahan bisa menjadi seperti tombol *toggle*[2] (*toggle switch*). *Toggle switch* adalah sebuah tombol yang ketika kita mulai menggerakkannya tampak tidak terjadi apa pun, namun saat mencapai suatu titik tertentu tombol tersebut akan mendapat kontak. Sebagai contoh, saat lapisan tanah yang tetap beku di lingkaran kutub utara mulai mencair, lapisan paling tebal yang terdapat materi organik akan ikut membusuk. Hal ini akan menghasilkan gas karbon dioksida dan gas metana

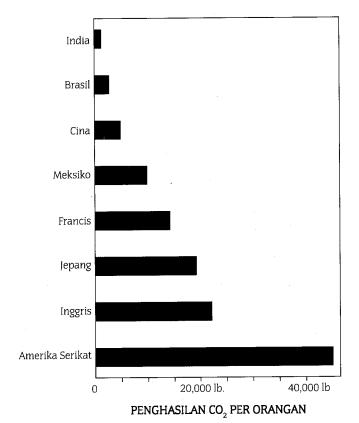
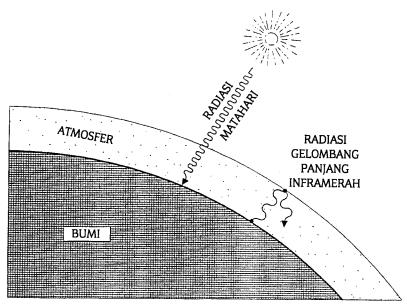
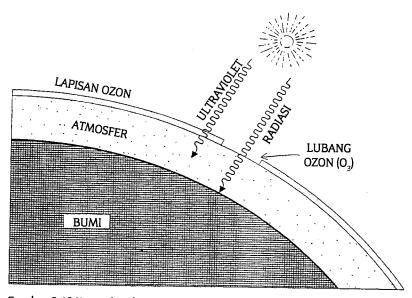
(gas alam), keduanya merupakan gas terkuat yang terdapat pada efek rumah kaca di bumi ini. Dengan demikian, bumi akan lebih cepat menjadi hangat dan lebih banyak lagi tanah yang beku di lingkaran kutub utara yang meleleh, dan seterusnya, dan seterusnya.

Seberapa besarkah kemungkinan yang telah dibahas di atas dapat terjadi? Tahun terpanas yang pernah tercatat selama ini adalah pada tahun 1997, lalu pada tahun 1998. Industri asuransi telah membiayai sebanyak empat kali lebih banyak untuk bencana cuaca dekade 1990-an dibanding dengan yang telah terjadi pada dekade 1980-an. Sebuah perusahaan asuransi besar telah memperkirakan bahwa jumlah bencana alam telah bertambah hingga tiga kali lipat semenjak tahun 1960-an. Pola ini cocok dengan model ilmiah dari proses pemanasan global dan keadaan bumi diperkirakan menjadi lebih parah sesuai dengan berjalannya proses kenaikan suhu. Karena perlunya waktu yang lama untuk memanaskan bumi, maka juga perlu waktu yang lama untuk mendinginkannya walaupun kita sudah mulai mengurangi karbon dioksida di udara.

Kita mengetahui bahwa pemanasan global (*global warming*) merupakan sebuah kenyataan dan akan menjadi masalah yang sangat serius di masa depan. Hanya karena kita tidak mengetahui seberapa parah masalah tersebut nantinya, bukan berarti kita tidak bisa bertindak melakukan sesuatu *sekarang*. Seperti yang telah dinyatakan oleh seorang ahli fisika terkenal, yaitu Albert A. Bartlett, "Kita harus menyadari bahwa tidak cukup hanya mendasarkan masa depan nasional kita dengan semboyan 'Saat kita tidak yakin, marilah kita berspekulasi (berjudi).'"

Karena nafsu besar kita pada energi, setiap warga Amerika menghasilkan CO_2 lebih banyak dibanding warga lain (Gbr. 2.11b), dan karena populasi kita yang cukup besar, Amerika Serikat juga merupakan negara yang paling banyak menghasilkan karbon dioksida. Mengurangi ketergantungan kita terhadap karbon dioksida yang menghasilkan bahan bakar memiliki lebih banyak keuntungan daripada mengurangi proses pemanasan global. Untuk jangka pendek, hal itu akan mengurangi ketergantungan kita pada minyak luar negeri, dan untuk jangka panjang akan mempersiapkan kita pada munculnya hari depan di mana bahan bakar (*fossil fuels*) akhirnya habis terpakai.

2.12 RUMAH KACA BUMI

Efek gas rumah kaca pada atmosfir berperilaku sebagai perangkap radiasi satu arah. Mereka membuat sebagian besar radiasi matahari menembus sampai permukaan bumi, yang setelah dipanas-

Gambar 2.11b Warga Amerika harus memimpin di negara tersebut usaha pengurangan pemancaran karbon-dioksida karena tiap orang menghasilkan jauh lebih banyak karbon dioksida perorangan dibanding dengan penduduk dari negara lainnya. (*After Consumer Reports*, September, 1996)

Gambar 2.12 Atmosfir bertindak sebagai rumah kaca yang digunakan untuk bercocok tanam, namun penerapannya pada bumi adalah dengan membiarkan sebagian besar radiasi matahari memasukinya, tetapi menghalangi sebagian besar gelombang panjang inframerah untuk ke luar meninggalkan bumi ini.

Gambar 2.13 Kerusakan lapisan ozon meningkatkan jumlah radiasi ultraviolet dari matahari yang membahayakan ketika mencapai permukaan bumi ini.

kan memancarkan kembali lebih banyak panas ke ruang angkasa. Meskipun demikian, gas rumah kaca itu kemudian menghalangi keluarnya sebagian besar radiasi panas tersebut (Lihat Gbr. 2.12). Suhu rata-rata saat ini merupakan akibat dari tingkat uap air yang ada ditambah dengan gas efek rumah kaca tersebut. Karena akibat gas tersebut, suhu bumi menjadi 60°F (35°C) lebih hangat dibanding tanpa adanya gas tersebut. Jika lebih banyak gas efek rumah kaca ditambahkan ke atmosfir, suhu keseimbangan rata-rata akan terus meningkat dan bumi menjadi lebih hangat lagi.

2.13 LUBANG OZON

Lubang ozon merupakan salah satu contoh perubahan kritis yang tidak diinginkan pada atmosfir bumi. Pendinginan bangunan secara tidak langsung telah menyebabkan terbentuknya lubang pada lapisan ozon yang seharusnya melindungi bumi dari radiasi sinar ultraviolet yang membahayakan (Gbr. 2.13). Molekul *Chlorofluorocarbon* (CFC) yang dibuat sebagai pendukung perangkat pengatur udara (*air conditioner* –*AC*), awalnya dikira aman, pada akhirnya memiliki konsekuensi cukup fatal. Saat molekul CFC ini lepas dari AC atau lepas dari pendorong pada kaleng semprotan, perlahan mereka akan berimigrasi ke lapisan atas atmosfir, yang terdiri dari ozon. Pada lapisan ini, CFC akan menghabiskan lapisan pelindung ozon dengan perkiraan waktu sekitar lima puluh tahun sebelum mereka sendiri hancur. Akibatnya, masalah ini akan tetap bersama kita jauh setelah kita memusnahkan CFC di permukaan bumi ini.

Protokol Montréal tahun 1987, yang juga didukung oleh Amerika Serikat, mengharuskan semua negara untuk perlahan-lahan menghilangkan pembuatan CFC. Walaupun ini merupakan contoh klasik bagaimana pemecahan hasil teknologi berubah menjadi sumber permasalahan baru, ini juga merupakan contoh

yang baik tentang bagaimana dunia bekerja sama berdasarkan suara ilmu pengetahuan dalam menanggapi masalah yang serius.

Sayangnya, kerja sama internasional ini belum berhasil mengendalikan pemancaran efek rumah kaca. Progres yang lambat ini disebabkan oleh beberapa alasan. Salah satunya adalah aturan-aturan industri bahan bakar batu bara dan industri transportasi yang memiliki pikiran picik (pendek) terhadap masa depan.

Gambar 2.14 Konsumsi energi dilihat dari sumbernya di Amerika Serikat. Perhatikan bahwa 92 persen berasal dari sumber-sumber yang tidak dapat diperbarui.

2.14 SUMBER ENERGI

Sumber energi mana yang dapat dimanfaatkan untuk memberi tenaga pada bangunan dan sumber energi mana yang tahan lama? Kita dapat membagi semua sumber energi menjadi dua kelompok utama, yaitu yang dapat diperbarui dan yang tidak dapat diperbarui sebagai berikut.

I. Dapat Diperbarui
   A. Matahari
   B. Angin
   C. *Biomass*
   D. *Hydroelectric* (hidro-listrik)
   E. *Geothermal*
II. Tidak Dapat Diperbarui
   A. Bahan Bakar
      1. Minyak
      2. Gas Alam
      3. Batu Bara
   B. Nuklir
      1. Pemecahan (Fission)
      2. Penyatuan (Fusion)?

Gambar. 2.14 menunjukkan bahwa kita menggunakan lebih banyak sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Ini merupakan hal yang sangat disayangkan, karena selain kita menghabiskan sumber ini, sumber inilah yang mengakibatkan polusi serta pemanasan global. Kita harus berpindah secepat mungkin dari menggunakan sumber yang tidak dapat diperbarui ke sumber yang dapat diperbarui. Sebelum kita pelajari lebih dalam kemampuan setiap sumber untuk memberi energi pada bangunan agar dapat bertahan lama, mari kita mulai dengan sedikit contoh sejarah penggunaan energi pada bangunan.

2.15 YUNANI KUNO: SEBUAH CONTOH BERSEJARAH

Peran energi pada bangunan secara besar-besaran telah terabaikan sepanjang sejarah hingga timbulnya "Krisis Energi Tahun 1973," saat sebagian dari pimpinan anggota OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries) secara mendadak menaikkan harga dan melakukan embargo terhadap ekspor minyak Amerika Serikat. Hasil kekurangan energi ini menyadarkan kita betapa tergantungnya (hingga sekarang) kita terhadap sumber energi yang tidak dapat diandalkan. Kita mulai memikirkan bagaimana penggunaan energi pada bangunan dapat diperbaiki.

Sebelum krisis energi ini, dalam pembahasan terhadap arsitektur Yunani Kuno bahkan tidak pernah ada penyebutan kata "energi". Bangsa Yunani Kuno, mulai menyadari permasalahan energi saat lahan tercinta mereka yang telah dibangun banyak monumen langka, terkikis oleh penebangan pepohonan untuk memanaskan bangunan mereka. Seperti yang telah dikatakan oleh salah satu filosof Yunani, Plato: "Semua bagian yang lebih kaya dan lebih lembut telah menghilang, yang tersisa hanya sebuah tengkorak dari negeri kita."

Bangsa Yunani Kuno mengatasi sebagian permasalahan mereka dengan menggunakan energi sinar matahari. Socrates, juga seorang filosof Yunani Kuno, menyadari bahwa hal ini cukup penting untuk mendorongnya menjelaskan metode perancangan bangunan berikut ini. Menurut Xenophone, Socrates menya-

takan: "Pada rumah yang menghadap selatan, sinar matahari akan menyoroti bagian portico di musim dingin, sedangkan di musim panas jalur matahari persis di atas kepala dan atap kita, sehingga terdapat naungan" (lihat Gbr. 2.15). Selanjutnya Socrates membahas sebuah rumah yang memiliki dua lantai: "Bagian rumah yang menghadap selatan harus dibangun lebih rendah daripada bagian bangunan yang menghadap utara agar tidak menghalangi matahari musim dingin" (*Butti and Perdin*, 1980).

Gambar 2.15 Di masa Yunani Kuno, bangunan yang tanggap terhadap matahari dianggap sebagai bangunan modern. Apartemen Olynthian menghadap selatan untuk menangkap matahari musim dingin. Perhatikan jendela pada sisi bagian utara, yang jumlahnya sedikit dan berukuran kecil. (Dari buku *Excavations at Olynthus, Part 8: The Hellenic House © John Hopkins University Press*, 1938)

2.16 SUMBER ENERGI YANG TIDAK DAPAT DIPERBAHARUI

Saat kita menggunakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui, kita berperilaku seperti pewaris yang sedang memanfaatkan warisannya tanpa memikirkan hari esok, sampai suatu saat menyadari isi rekening di bank sudah kosong. Terdapat dua kategori sumber energi yang tidak dapat diperbarui: bahan bakar (*fossil fuels*) dan nuklir.

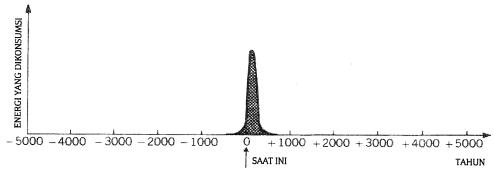
Bahan Bakar (*Fossil Fuels*)

Selama ratusan juta tahun, tanaman hijau menjebak energi matahari dengan proses fotosintesis. Akumulasi dan transformasi tanaman ini menjadi wujud solid, cairan, dan gas yang kita namakan sebagai ***bahan bakar*** batu bara, minyak, dan gas. Saat bahan tersebut dibakar, sesungguhnya kita telah menggunakan energi matahari yang telah tersimpan dari ratusan juta tahun yang lalu. Karena perlu waktu yang sangat lama untuk mengubah tanaman hidup hingga menjadi bahan bakar fosil (*fossil fuels*), mereka menjadi sumber energi yang bisa habis dan tidak dapat diperbarui. Zaman *fossil fuels* dimulai sekitar tahun 1850 dan akan bertahan paling lama beberapa abad. Keterbatasan alam zaman fosil tersebut telah digambarkan dengan jelas di grafik Gambar. 2.16a.

Sebagian besar polusi udara dan asap merupakan hasil pembakaran *fossil fuels* (lihat Gambar. 2.16b). Penggunaan *fossil fuels* juga dapat mengakibatkan hujan asam, dan yang paling penting, mengakibatkan pemanasan global.

Gas Alam

Gas alam, yang memiliki metana sebagai bahan utamanya, merupakan sumber energi yang sangat bersih dan praktis. Dengan sistem pemipaan yang sangat canggih dan tersebar, gas alam dapat disebarluaskan ke daerah yang paling padat di Amerika Serikat. Setelah terbakar di sumur minyak sebagai limbah produk samping, gas alam menjadi bahan paling diminati saat ini. Sayangnya, gas yang lebih gampang diperoleh karena dekat permukaan tanah telah terangkat semua. Sebagian besar sumber yang ada berasal dari sumur sedalam 15.000 kaki dan keberadaannya pun tetap terbatas. Dengan demikian, gas alam menjadi bahan bakar yang

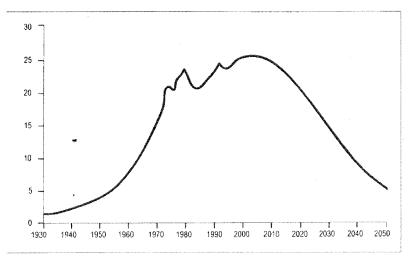
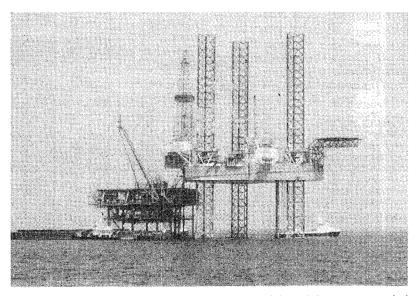
Gambar 2.16a Zaman bahan bakar *(fossil fuels)* dengan jangka waktu terpanjang sejarah manusia (setelah Hubert)

Gambar 2.16b Polusi udara yang menutupi Kota New York tidak setiap saat seperti ini. Sering kali alam mengirim (dengan angin) polusi udara ini ke kota seperti Connecticut dan New Jersey.

lebih mahal pada masa yang akan datang. Karena gas juga merupakan bahan baku yang juga dimanfaatkan untuk pupuk serta zat kimia lainnya, maka tidak lama lagi gas akan menjadi salah satu bahan yang memiliki nilai terlalu tinggi untuk dibakar. Saat ini Amerika Serikat mengimpor gas alam dalam bentuk **gas alam cair (*liquefied natural gas* –*LNG*)**.

Untuk mempertahankan wujud cair ini, pengirimannya menggunakan kapal pengangkut bahan bakar dengan suhu tetap -260°F. Terdapat beberapa kecemasan terhadap keselamatan proses ini karena jika kapal tersebut meledak di sebuah pelabuhan yang padat, hasil kerusakannya sama dengan peledakan bom nuklir kecil.

Minyak

Sumber energi paling utama dan sangat bermanfaat saat ini tentunya adalah minyak. Namun, persediaan minyak di dunia ini hanya terbatas hingga sekitar akhir abad ini, kemungkinan besar minyak akan habis. Persediaan minyak untuk kebutuhan domestik bahkan akan lebih cepat habis. Amerika Serikat saat ini telah mengimpor lebih dari 50 persen dari kebutuhan minyaknya. Karena minyak juga dibutuhkan dalam pembuatan lubrikan, plastik, serta zat kimia lainnya, seperti gas alam, minyak juga akan memiliki nilai terlalu tinggi untuk dibakar di masa depan.

Jauh sebelum kita kehabisan minyak, harganya pun akan jauh meningkat. Para peneliti telah memperlihatkan bahwa permintaan akan menjadi lebih besar dibanding dengan persediaan saat setengah dari sumber minyak telah dihabiskan. Ini juga merupakan titik terjadinya puncak produksi. Estimasi puncak produksi minyak terbaik adalah sekitar dekade ke-2 abad ini (Gbr. 2.16c). Permintaan akan melebihi produksi karena adanya beberapa

Gambar 2.16c Harga minyak diprediksi akan naik dengan signifikan setelah puncak produksi, yaitu sekitar tahun 2010 dan 2020. (Campbell dan Laherrére, 1998)

Gambar 2.16d Pelataran untuk pengeboran minyak bawah laut sangat mahal sehingga minyak yang diambil menjadi lebih mahal lagi.

alasan. Karena sebagian besar minyak yang mudah dipompa telah dikeluarkan dari tanah, kita sekarang terpaksa melakukan pengeboran yang lebih dalam, pengeboran di bawah air (Gbr. 2.16d), atau di tempat-tempat yang sulit dijangkau, seperti di bagian utara Alaska. Pada akhirnya, kita sekarang juga terpaksa menggunakan petroleum berkualitas rendah yang akan meningkatkan harga serta polusi udara. Sumber-sumber yang tidak konvensional, seperti pasir aspal (tar sands), *oil shale*[3], dan peleburan batu bara (*coal liquefaction*), bukanlah hal yang dapat bertahan terus secara ekonomi saat ini, dan akan mahal saat digunakan. Selain beberapa masalah lain yang berhubungan dengan sumber ini, terdapat juga kemungkinan penumpahan minyak yang akan berdampak buruk serta merupakan tragedi bagi ekologi bumi ini.

Batu Bara

Hingga saat ini, bahan bakar yang paling banyak persediaannya adalah batu bara. Walaupun Amerika Serikat memiliki persediaan batu bara yang cukup hingga 100 tahun mendatang, permasalahan yang signifikan telah diasosiasikan dalam penggunaannya. Permasalahan dimulai dari proses penambangannya. Penambangan yang dalam, akan membahayakan para penambang, yang dapat dibedakan menjadi dua hal. *Pertama,* ancaman bahaya setiap hari dengan adanya kemungkinan terjadi peledakan serta runtuhnya gua tambang. *Kedua,* dalam jangka panjang, terdapat bahaya terkena penyakit pernapasan cukup serius yang berasal dari penghirupan serbuk batu bara. Jika bahan baku batu bara terletak di dekat permukaan, sistem penambangan strip *(strip mining)* merupakan proses yang lebih disenangi. Walaupun proses penambangan ini tidak terlalu membahayakan para penambang, bahaya tetap ada pada lahan yang digunakan. Proses reklamasi tanah merupakan hal yang memungkinkan di bagian barat negara Amerika Serikat, di mana sumber air yang sangat diperlukan untuk proses *strip mining* sangat sedikit jumlahnya.

Permasalahan bertambah karena batu bara merupakan sumber daya yang tidak mudah untuk diangkut, diolah, dan digunakan. Karena batu bara merupakan

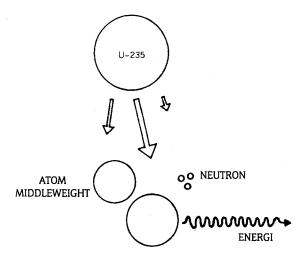
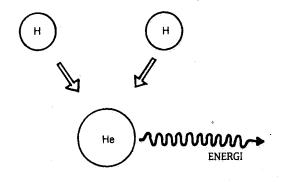
bahan bakar yang kotor ketika dibakar dan menjadi penyebab utama terjadinya hujan asam. Penggunaannya akan dibatasi untuk pembakaran berskala besar, dengan memasang perangkat mahal untuk mengurangi terbentuknya polusi udara. Meskipun suatu hari batu bara akan dapat dibakar secara "bersih", ia tetap akan menghasilkan karbon dioksida dan memberikan kontribusi terhadap proses pemanasan global.

Pemecahan Nuklir *(Nuclear Fission)*

Dalam proses pemecahan, beberapa atom berat, seperti uranium-235 akan terbelah menjadi dua atom berukuran sedang dan proses ini juga akan menghasilkan neutrons serta energi yang sangat banyak (Gbr. 2.16e). Sepanjang tahun 1950-an, terdapat sebuah pemikiran yang dipercayai masyarakat umum bahwa "listrik yang dihasilkan oleh tenaga nuklir suatu hari akan menjadi terlalu murah untuk diperhitungkan."

Meskipun dengan subsidi pemerintah yang besar karena potensi tenaga nuklir, impian ini masih belum juga tercapai. Bahkan yang terjadi adalah kebalikannya. Tenaga nuklir telah menjadi bahan untuk menghasilkan energi paling mahal dan cara untuk menghasilkan listrik yang kurang diminati. Faktor terpenting penurunan minat terhadap tenaga nuklir adalah keengganan masyarakat sekarang untuk menerima risiko yang sangat besar. Terjadinya kecelakaan nuklir seperti di Chernobyl (Rusia) pada tahun 1986 menghasilkan penyebaran radiasi bersifat mematikan yang lebih luas lagi. Kecelakaan di Pulau Three Mile (Amerika Serikat) tahun 1979 kemungkinan besar bisa menjadi seperti kejadian Chernobyl jika perangkat penyimpan yang sangat mahal tidak dibuat. Lebih dari dua puluh tahun kemudian, reaktor nuklir ini masih dalam proses pembayaran satu miliar dollar US dalam pembersihan. Ciri-ciri aman yang diperlukan untuk menghindari terjadinya kecelakaan telah membuat pusat tenaga nuklir menjadi tidak ekonomis.

Masalah lain yang menghadang industri tenaga nuklir adalah umur pendek uranium-235, yang sangat langka dan sebentar lagi akan habis. Harapan utamanya adalah dapat menggunakan bahan yang lebih banyak persediaannya, yaitu isotope U-238 dengan mengubahnya menjadi bahan bakar. Ini memerlukan konstruksi reaktor nuklir yang mengubah U-238 menjadi elemen plutonium. Plutonium, menjadi nama yang cocok untuk dewa dunia bawah bumi, merupakan elemen yang sangat menyeramkan. Plutonium sangat beracun dan ideal untuk pembuatan bom atom. Empat pounds plutonium cukup dapat memusnahkan manusia di bumi ini.

Penghematan seluruh pusat tenaga nuklir hingga saat ini masih belum setinggi yang diharapkan. Harga awal sebuah pusat tenaga nuklir tinggi, penghematan operasional rendah, dan

Gambar 2.16e Pemecahan nuklir merupakan pembelahan sebuah atom berat.

Gambar 2.16f Penyatuan nuklir terdiri dari penggabungan atom-atom yang sangat ringan, penggabungan dari dua atom hidrogen menghasilkan sebuah atom helium serta energi tambahan yang banyak.

masalah pembuangan limbah nuklir sampai sekarang masih belum dapat dipecahkan. Efek keseluruhan dari masalah yang telah disebut di atas adalah belum adanya pusat tenaga nuklir baru yang diperintahkan oleh industri tenaga listrik untuk dibangun semenjak tahun 1978, dan kemungkinan besar tidak akan ada lagi pembangunan ini di masa depan.

Penyatuan Nuklir *(Nuclear Fusion)*

Saat dua atom ringan bersatu (*fuse*) untuk membuat sebuah atom yang lebih berat, tenaga yang dikeluarkan dinamakan **penyatuan atau fusi** (Gbr. 2.26f). Ini merupakan proses yang sama dengan yang terjadi di matahari dan bintang. Proses ini tidak sama dengan **pemecahan atau fission**, sebuah proses di mana atom-atom *decay*[4] dan menjadi terpisah.

Fusi memiliki banyak potensi lebih dibanding dengan fission. Fusi menggunakan hidrogen, bahan yang paling banyak tersedia di jagad raya ini, sebagai bahan bakarnya. Fusi menghasilkan limbah radioaktif lebih sedikit dibanding fission. Fusi juga merupakan proses yang lebih aman karena sifatnya *self-extuingishing* dibanding fission yang sifatnya *self-exciting*, dengan pengertian bahwa fusi cenderung memulai satu reaksi yang berantai.

Namun, semua kelebihan ini tidak mengubah kenyataan bahwa pusat tenaga fusi masih belum ada sampai sekarang, dan kita tidak memiliki jaminan bahwa kita akan membangun tenaga fusi yang ekonomis. Para pemikir optimis pun tidak dapat berharap fusi menghasilkan jumlah tenaga yang sangat besar dalam waktu dekat.

Dengan mempertimbangkan kekurangan yang ada, mungkin pusat tenaga nuklir yang terbaik adalah yang berjarak 93 ribu mil dari kita, yaitu di matahari.

2.17 SUMBER ENERGI YANG DAPAT DIPERBAHARUI

Sumber-sumber berikut ini semuanya memiliki aset yang sama, yaitu merupakan sumber yang dapat diperbarui dan tidak ikut serta berkontribusi terhadap proses pemanasan global. Matahari, angin, hidroelektrik, serta biomassa dapat diperbarui karena semuanya merupakan variasi lain dari sumber tenaga matahari. Dari semua sumber yang dapat diperbarui, hanya sumber geothermal yang tidak bergantung pada matahari.

Energi Sinar Matahari (Solar)

Istilah **energi sinar matahari (solar)** mengacu pada penggunaan radiasi matahari dengan berbagai macam cara. Metode utama punggunaan sinar matahari yang utama semuanya akan dibahas lebih lanjut pada buku ini:

- Pencahayaan Matahari Pasif (Bab 7)
- Photovoltaics dan Pencahayaan Matahari Aktif (Bab 8)
- Pencahayaan Alami (Bab 13)

Kata "*solar*" (matahari/sinar matahari) juga digunakan untuk sejumlah aplikasi khusus yang tidak akan dibahas di sini, seperti termal matahari (*solar*) yang digunakan untuk membangkitkan listrik.

Dalam jangka waktu satu tahun jumlah energi matahari yang sampai ke permukaan bumi adalah 10.000 kali lebih besar daripada semua tipe energi yang telah digunakan oleh manusia sepanjang waktu. Jika demikian, mengapa kita tidak memanfaatkan energi matahari ini? Pertanyaan ini sebagian dapat dijawab dengan adanya beberapa permasalahan teknis yang berhubungan dengan proses pemanfaatan energi tersebut. Permasalahan teknis yang dimaksud ini berakar pada masalah penyebaran, ketersediaan yang sebentar-sebentar, serta ketidakmerataan pada distribusi energi matahari ini.

Berbagai macam solusi untuk permasalahan teknis memang ada, namun semuanya membutuhkan biaya atas sebuah sumber yang seharusnya gratis. Walaupun demikian, beberapa teknis bagus yang dikembangkan untuk menggunakan energi matahari telah membantu mengurangi biaya untuk mengumpulkan dan menyimpan energi matahari di mana beberapa bentuk energi matahari ini sangat ekonomis dalam banyak situasi.

Selain menjadi sumber yang dapat diperbarui, energi matahari memiliki kelebihan penting lain. Sumber ini sangat baik terhadap lingkungan. Salah satu pembuktiannya adalah sumber tersebut tidak akan menghasilkan polusi udara, air, daratan, maupun termal. Energi matahari juga sangat aman untuk digunakan. Matahari merupakan sumber energi yang didesentralisasikan yang tersedia untuk semua orang di mana pun mereka berada. Dengan menggunakan sumber ini, setiap individu tidak lagi bergantung pada

sumber energi yang rentan atau dapat dimonopoli oleh sistem pemerintahan, dan negara akan bebas dari embargo energi. Negara seperti Jepang dan Switzerland telah mulai dengan program matahari yang ambisius agar menjadi lebih mandiri dalam hal energi, sedangkan Amerika Serikat telah menjadi sangat bergantung terhadap minyak dari luar negeri yang kini telah mencapai lebih dari 50 persen.

Permasalahan nonteknis pertama yang menghadang proses penerimaan energi matahari ini akibat kepercayaan sebagian besar masyarakat bahwa hal ini tidak konvensional, terlihat buruk, tidak berfungsi, terlalu futuristik, dan lain-lain. Padahal kebalikannya, pada sebagain besar aplikasinya, seperti pencahayaan alami atau penggunaan ruang matahari, energi matahari dapat menambah nilai pada arsitektur. Bentuk-bentuk estetika yang menawan merupakan produk akhir yang alami dari sebuah rancangan yang memanfaatkan energi penyinaran matahari (Gbr. 11.6e). Energi matahari tidak hanya dapat menguntungkan sumber energi negara dan mengurangi peningkatan suhu pada bumi, tetapi juga memperkaya arsitektur.

Energi *Photovoltaic*

Jika seseorang diminta untuk membayangkan sumber energi yang ideal, yang paling cocok adalah membayangkan sel photovoltaic (PV). Energi ini dibuat dari bahan paling biasa yang dapat ditemukan di bumi ini, yaitu silikon. Energi tersebut menghasilkan bentuk energi yang paling fleksibel dan berharga, yaitu listrik. Photovoltaic sangat dapat diandalkan karena tidak memiliki bagian yang harus digerakkan. Energi tersebut sama sekali tidak menghasilkan polusi dalam bentuk apa pun –tidak bersuara, tidak memiliki radiasi. Dan yang terakhir, energi photovoltaic ini memakai sumber energi yang tiada habisnya, yaitu matahari.

Sepanjang dua puluh tahun, biaya listrik PV telah menurun secara konstan dan sedang berada dalam proses untuk menjadi lebih kompetitif dengan listrik konvensional. Saat ini, di daerah yang jauh dari jaringan listrik, listrik PV sudah menjadi kompetitif dengan listrik konvensional.

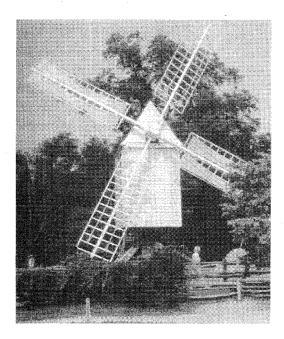
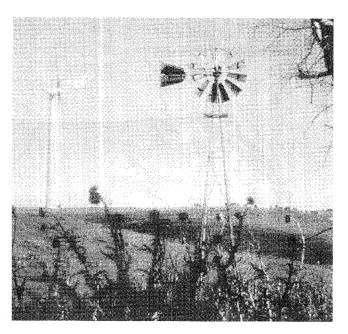
Terdapat potensi terbesar pada **bangunan-gabungan photovoltaic (*BIPV/Building-Integrated Photovoltaic*)**, baik untuk masa depan energi kita maupun untuk masa depan arsitektur.

Energi Angin

Masyarakat Persia Kuno telah menggunakan tenaga angin untuk memompa air. Kincir angin pertama kali ditemukan di Eropa pada abad ke-12. Sepanjang abad angin digunakan secara sukses untuk mengolah gandum serta memompa air. Lebih dari 6 miliar kincir angin dan turbin angin telah digunakan di Amerika Serikat sepanjang 150 tahun (Gbr. 2.17a). Kincir angin dimanfaatkan lebih banyak untuk memompa air pada lahan perkebunan dan peternakan (Gbr. 2.17b). Turbin angin juga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik bagi daerah pinggiran yang terpencil sebelum masuknya listrik pada tahun 1930-an.

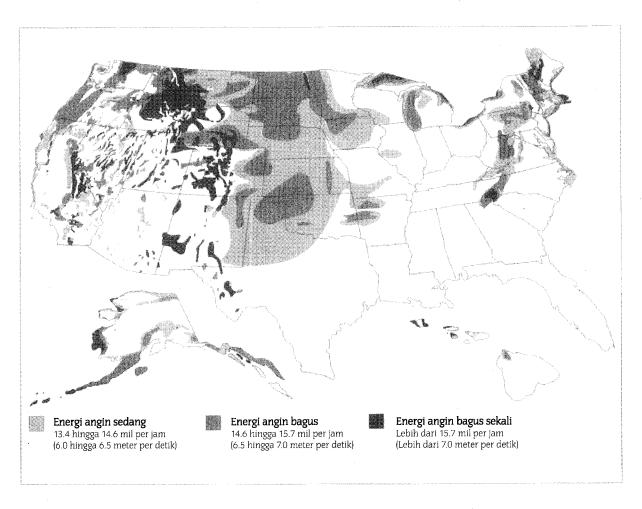
Sekarang turbin angin sudah mulai digunakan kembali karena mampu menghasilkan energi yang bersih, dapat diperbarui dengan ongkos yang sama dengan energi konvensional. Di tempat-tempat di mana persediaan angin banyak dan listrik mahal, tenaga angin sering kali menjadi sumber energi yang paling baik. Di seluruh dunia, saat ini turbin angin dapat membangkitkan listrik sebagai jaringan tenaga (Gbr. 2.17c).

Turbin angin kecil juga merupakan sumber energi yang sangat baik, terutama pada bangunan berdiri sendiri yang memiliki sumber angin cukup, karena ada hubungan langsung antara kecepatan serta durasi. Gambar 2.17d, memperlihatkan bagaimana kondisi angin paling diminati dapat ditemukan di Amerika Serikat. Tentunya kondisi lokal juga penting sehingga survei lokal sebaiknya dilaksanakan untuk kondisi yang menjadi halangan ataupun kondisi paling baik. Dari seluruh bagian negara, puncak gunung, dan garis pantai merupakan lokasi yang paling baik. Untuk alasan ekonomis, minimal diperlukan kecepatan rata-rata angin per tahunnya adalah 9 mil per jam (mph), atau 4 meter per detik (m/s). Perhatikan bagian akhir bab ini untuk informasi mengenai ketersediaan sumber angin.

Karena pengeluaran tenaga oleh turbin angin proporsional terhadap *cube* kecepatan angin (lihat Kotak 2.17), maka sebuah lahan yang sangat berangin akan

Gambar 2.17a Ini kincir angin di Colonial Williamsburg, VA, dahulu pernah digunakan untuk mengolah gandum.

Gambar 2.17b Kincir angin masih tetap digunakan untuk memompa air di sebagian perternakan dan pertanian, dan generator angin yang besar menggunakan tenaga yang sama untuk menghasilkan listrik yang bersih dan bebas polusi. Satu tipe turbin angin seperti ini dapat menghasilkan tenaga bersih untuk sekitar 600 orang (Enron Wind Corp.)

Gambar 2.17c Tanah yang mengumpulkan turbin angin di Pegunungan Delaware, dekat El Paso, Texas (Enron Wind Corp.)

memiliki keuntungan besar jika menempatkan turbin angin setinggi mungkin hingga mencapai sumber angin yang paling cepat. Sebagian besar, mesin angin ditopang dengan menara (Gbr. 2.17e), tetapi mereka juga bisa ditempatkan pada bangunan. Menara yang sering kali ditemukan memiliki ketinggian mulai dari 80 hingga 120 kaki.

Tenaga yang dikeluarkan oleh turbin angin juga proporsional terhadap panjang baling-baling (Gbr. 2.17f). Sebuah baling-baling dengan diameter 6,6 kaki cukup untuk memberi tenaga sebuah televisi, sedangkan yang berdiameter 66 kaki mampu membangkitkan listrik cukup untuk 500 warga California atau 1.000 warga Eropa.

Gambar 2.17d Peta negara Amerika Serikat, termasuk Alaska dan Hawaii, memberi informasi umum sumber daya angin yang ada. (Dari DOE?GO-10097-347,FS 135, Januari, 1997)

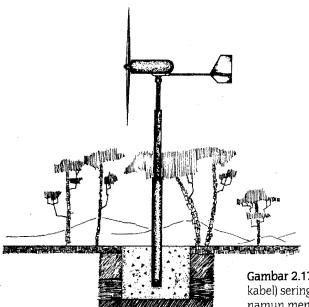
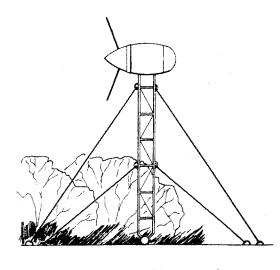
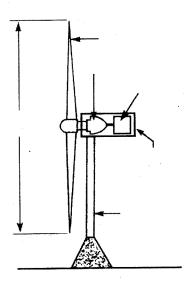
KOTAK 2.17

Tenaga yang dihasilkan oleh mesin angin proporsional terhadap kubik kecepatan angin dan kuadrat radius baling-baling.

$$P \approx V^3 X D^2$$

dimana: P = tenaga yang dihasilkan
V = kecepatan udara
D = diameter baling-baling

Sebagai contoh, tenaga yang dihasilkan akan menjadi 8 (2^3) kali lebih besar jika kecepatan angin berganda, atau dengan kata lain, sebuah kecepatan angin yaitu 12.6-mph akan menghasilkan tenaga dua kali lipat daripada angin yang berkecapatan 10-mph.
Begitu pula, jika diameter baling-baling digandakan (2^2), pengeluaran tenaga akan menjadi 4 kali lipat.

Kekurangan paling besar dalam menggunakan tenaga angin adalah bahwa mereka tidak konsisten. Pada instalasi tenaga yang memiliki hubungan jaringan, kebiasaan alami yang kadang-kadang ada dan kadang-kadang tidak ada, bukan merupakan hal yang harus dikhawatirkan karena jaringan tersebut akan berperilaku sebagai baterai penyimpan energi yang sangat besar dan mampu memberi tenaga saat hembusan angin tidak ada. Pada sistem mandiri, baterai yang besar diperlukan. Namun, ditemukan bahwa **sistem hibrid**, di mana tenaga angin dikombinasikan dengan sel PV, sangat efisien

Gambar 2.17e Menara tipe guy-wire-supported (menggunakan sistem kabel) sering kali lebih murah dibanding dengan menara pipa, namun memerlukan lahan yang lebih besar. (Dari *Wind Power for Farm, Homes, and Small Industry*, US Department of Energy, 1978)

Gambar 2.17f Komponen utama sebuah turbin angin. (Gambar dari DOE/CE-0359P)

karena keduanya saling melengkapi. Pada musim dingin terdapat lebih banyak angin dibanding sinar matahari, sedangkan pada musim panas, sel PV membangkitkan lebih banyak listrik dibanding turbin angin. Hal yang sama berlaku untuk hari yang penuh badai, di mana sinar matahari lebih sedikit dibanding angin. Oleh karena itu, turbin angin dan sel PV sering kali digunakan bersama, seperti yang terlihat pada Gambar. 8.5c. Perhatikan juga Subbab 8.5 dan 8.6 untuk melihat tipikal perangkat sistem elektrikal dan keseimbangan sistem peralatan yang diperlukan.

Turbin angin yang kecil memang sedikit bersuara, tetapi sebagian besar pengguna menganggap suara tersebut tidak menyenangkan sehingga dirancang turbin angin yang lebih tidak bersuara. Turbin angin tidak mengganggu transmisi televisi. Pada lokasi tertentu, mesin angin banyak membunuh burung. Walaupun ini merupakan masalah, namun tidak seberapa dibanding jumlah burung yang terbunuh setiap tahun karena ditabrak mobil (sekitar 57 ribu) dan sekitar 97 ribu mati menabrak lapisan kaca gedung bertingkat banyak.

Meskipun lahan untuk mengelola tenaga angin tersebar dalam lahan yang sangat luas, lahan tersebut tetap masih dapat dimanfaatkan untuk bercocok tanam. Hal ini tidak dapat dilakukan pada lahan yang digunakan untuk menghasilkan tenaga air, di mana lahan di sekitar bendungan dibanjiri air. Selain itu, lahan yang diperlukan untuk mengolah tenaga angin adalah seperlima dari lahan yang diperlukan untuk mengelola tenaga air.

Terdapat juga beberapa kekhawatiran terhadap dampak estetika karena sifat tenaga angin alam, mesin tenaga angin harus menjulang tinggi di udara. Nyatanya hanya sedikit keluhan yang timbul dan penulis berpendapat bahwa terdapat keindahan yang tak terpisahkan dalam alat yang menghasilkan energi yang dapat diperbarui dan tidak menghasilkan polusi.

Energi *Biomass*

Fotosintesis menyimpan energi matahari untuk penggunaan di waktu mendatang. Cara ini di-

gunakan tanaman untuk memecahkan masalah pemancaran dan keberadaan yang terkadang ada dan tidak, yang semuanya berhubungan dengan energi matahari. Energi yang tersimpan ini dapat diubah menjadi panas, listrik, atau bahan bakar seperti gas, alkohol, dan hidrogen. Karena **biomass** merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dan tempat pembakarannya berukuran besar, relatif bebas polusi, biomass menjadi pilihan sumber energi yang menarik. Terdapat dua sumber biomass: (1) tanaman ditumbuhkan khusus untuk mendapatkan energi yang tersimpan di dalamnya dan (2) limbah organik pertanian, industri, atau konsumen. Agar Amerika Serikat mendapatkan semua energi yang dibutuhkannya dari biomass, diperlukan lahan sebesar 1,1 juta square miles. Luas lahan sedemikian besarnya sama dengan lahan yang digarap negara tersebut untuk kebutuhan pangannya. Dengan demikian, terpaksa kita harus memilih antara makanan atau bahan bakar. Jumlah populasi dunia ini sudah terlalu tinggi untuk mengubah tanah garapan pangan menjadi lahan untuk bahan bakar. Walaupun demikian, lahan yang tidak digunakan dan limbah organik yang ada masih tetap dapat kita manfaatkan untuk menghasilkan energi yang jumlahnya sudah cukup signifikan. Seperti yang telah dinyatakan oleh William McDonough, arsitek, penulis, serta mantan Dekan Sekolah (Fakultas) Arsitektur di Universitas Virginia, "Sampah adalah makanan."

Pembakaran biomass dibanding dengan pembakaran bahan bakar lebih mampu mengurangi masalah kenaikan suhu pada bumi karena biomass adalah "**karbon-netral**". Ketika sedang tumbuh, tanaman memindahkan karbon dioksida dari atmosfir yang sama dengan yang dikembalikannya saat biomass dibakar. Dengan demikian, selang beberapa waktu isi karbon dioksida yang terdapat dalam atmosfir tidak akan berubah.

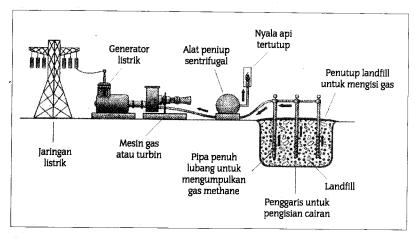
Limbah pertanian, seperti jerami; limbah industri, seperti serpihan kayu; atau limbah konsumen, seperti sampah dapat dibakar untuk mendukung proses pemanasan atau proses produksi listrik. Sebagian limbah pertanian dapat diproses melalui fermentasi untuk menghasilkan ethanol alkohol dan digunakan sebagai cairan bahan bakar. Banyak di antara limbah organik juga dapat diolah menjadi gas metana. Lahan pembuangan limbah mengeluarkan metana ke atmosfir yang menyebabkan kenaikan suhu bumi. Daripada menghasilkan metana yang membahayakan bumi, lahan pembuangan limbah ini dapat dimanfaatkan untuk hal yang lebih baik, yaitu menghasilkan metana untuk mengisi jalur pipa gas alam atau membangkitkan listrik lokal (Gbr. 2.17g). Limbah manusia juga dapat dimanfaatkan dengan cara yang sama.

Kayu yang digunakan untuk memanaskan rumah merupakan salah satu contoh energi biomass. Namun, pembakaran kayu dengan jumlah sangat banyak pada perapian atau kompor, tidak dibenarkan karena memiliki efisiensi yang rendah sekaligus menghasilkan polusi udara yang tinggi. Perapian sangat tidak efisien (lihat Sub Bab 16.2), sedangkan kompor yang menggunakan kayu sebagai bahan bakar menghasilkan polusi yang tinggi.

Biomass merupakan sumber energi yang diminati, namun sayangnya jumlah persediaan tanaman terbatas karena tanaman diperlukan untuk menghasilkan makanan maupun produk-produk lainnya, seperti kayu. Lebih lanjut, penggunaan semua biomass untuk energi akan menghilangkan tanah pada material rusak yang dibutuhkan generasi tanaman berikutnya (lihat Gbr. 2.17h).

Energi Hidro-Listrik

Penggunaan tenaga air, yang juga dikenal sebagai **tenaga-hidro** atau **hidro-listrik,** memiliki sejarah kuno: kincir angin telah menjadi objek yang populer semenjak zaman Kerajaan Romawi. **Roda air yang dijalankan oleh air yang berada di atasnya (*overshot wheel*)** (Gbr. 2.17i) merupakan hal yang sangat efisien, tetapi ketinggian air terjunnya (*head*) yang diperlukan minimal 10 kaki. Ketika secara vertikal terjunnya air rendah, namun kecepatan aliran airnya masih cukup, tipe **roda air yang dijalankan dengan air yang berada di bawahnya (*undershot wheel*)** menjadi yang terbaik. Saat ini turbin yang kompak digerakkan oleh air yang diangkut dalam rangkaian pipa.

Tenaga yang tersedia dari sebuah sungai merupakan fungsi head maupun flow. ***Head*** adalah beban yang dikembangkan oleh terjunnya air secara vertikal, sering kali dinyatakan dalam satuan

Gambar 2.17g Gas dan lahan pembuangan akhir dapat dikumpulkan untuk membangkitkan tenaga listrik. (Dari Texas State Energy Conservation Office-Fax Sheet No. 16)

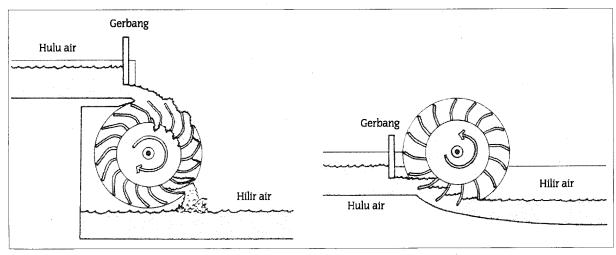
Gambar 2.17h Menyelamatkan biomass untuk mengisi ulang tanah merupakan hal yang masuk akal baik dari segi tingkat makro maupun mikro. Plang ini ditemukan di sebuah pengembangan area rumah di luar Houston, TX.

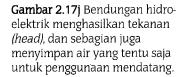
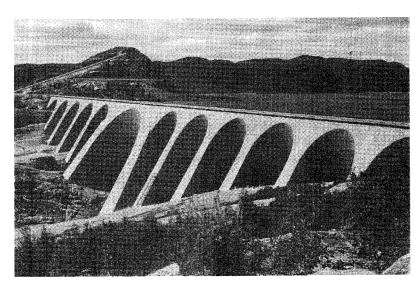
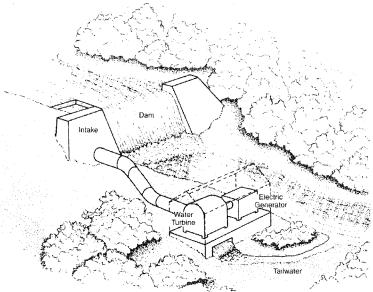
pounds per square inchi. *Flow* adalah jumlah air yang mengalir pada jarak dan waktu tertentu, sebagai contoh, *cubic feet* per menit. Alirannya merupakan hasil persilangan bagian dan kecepatan dari sebuah sungai atau kali.

Karena pengeluaran tenaga secara langsung proporsional terhadap *head* dan *flow*, berbagai macam kombinasi *head* dan *flow* akan bekerja cukup baik. Sebagai contoh, sebuah pusat tenaga air dapat dirancang untuk bekerja dengan hasil sama untuk *head* yang berukuran 8 kaki dengan *flow* berukuran 100 kaki kubik per menit atau *head* yang berukuran 16 kaki dengan *flow* berukuran 50 kaki kubik per menit.

Saat ini, tenaga air digunakan hampir secara eksklusif untuk membangkitkan listrik. Biaya terbesar berasal dari bendungan yang diperlukan untuk membangkitkan *head* serta menyimpan air untuk mempertahankan *flow* seimbang (Gbr. 2.17j). Satu kelebihan tenaga air yang tidak dimiliki oleh sumber lainnya (yang dapat diperbarui) adalah kemudahannya dalam menyimpan energi. Kekurangan utama hidro-listrik adalah perlunya lahan yang sangat luas untuk dibanjiri sebagai danau penyimpan energi. Lahan ini sering kali merupakan lahan pertanian dan berpopulasi tinggi. Kekurangan lain adalah timbulnya gangguan ekologi lokal, misalnya ikan tidak bisa menemukan kembali tempat mereka bertelur. Karena alasan ini, banyak bendungan air di Amerika Serikat telah diruntuhkan.

Gambar. 2.17k menggambarkan sebuah sistem sederhana hidro-listrik skala kecil. Bendungan ini dapat membangkitkan *head* yang dibutuhkan, menyimpan air, serta mengalihkan air ke dalam pipa yang mengantar air tersebut ke turbin di bagian bawah. Turbin modern memiliki kecepatan perputaran yang tinggi (rpm) hingga dapat menjalankan sejumlah generator listrik secara efisien.

Semua sistem hingga yang terkecil pun memerlukan sejumlah bendungan yang mahal dan masih harus dipertanyakan dampaknya terhadap lingkungan. Sistem yang sangat kecil dinama-

Gambar 2.17i Kiri: Roda air yang dijalankan oleh air di atasnya. Kanan: Roda air yang dijalankan oleh air di bawahnya. (Dari *Building Control Systems* oleh Vaughn Bradshaw, edisi ke-2 © John Wiley & Sons, Inc., 1993)

Gambar 2.17j Bendungan hidro-elektrik menghasilkan tekanan *(head)*, dan sebagian juga menyimpan air yang tentu saja untuk penggunaan mendatang.

Gambar 2.17k Sebuah sistem hidro-elektrik sederhana dan kecil. (Dari *Building Control Systems* oleh Vaugn Bradshaw, edisi ke-2 © John Wiley & Sons, Inc., 1993)

kan tenaga-hidro-mikro dan hanya menggunakan "aliran air sungai" tanpa bendungan. Namun, lokasi tersebut, harus tetap memiliki minimum perbedaan tingkat elevasi 3 kaki agar dapat membangkitkan minimum *head* yang diperlukan. Tentunya, lebih banyak *head* (perubahan tingkat elevasi), akan menghasilkan tenaga lebih baik.

Sekitar 5 persen dari energi di Amerika Serikat telah dihasilkan dari air terjun. Saat ini kita menggunakan sepertiga dari total sumber hidro-listrik yang tersedia tidak dimungkinkan. Penggunaan sumber ini sepenuhnya terjadi karena sebagian lokasi terbaik yang masih ada terlalu tinggi nilainya untuk dihilangkan. Sebagai contoh, sulit menemukan seseorang yang mau membanjiri Grand Canyon atau Yosemite Valley untuk keperluan bendungan hidro-listrik. Sebagian besar masyarakat Amerika saat ini melihat sumber alam yang memiliki pemandangan menawan (misalnya, sungai, lembah, dan lain-lain) sebagai sumber yang harus dilestarikan dan dilindungi. Energi hidro-listrik akan berlanjut sebagai sebuah sumber yang dapat diandalkan, namun terbatas untuk kebutuhan energi negara kita.

Energi Panas Bumi

Istilah ***geothermal*** telah digunakan untuk menjelaskan dua sistem yang cukup berbeda: (1) penarikan panas yang berasal dari bagian bumi yang sangat dalam dan (2) penggunaan lapisan tanah yang terletak persis di bawah permukaan sebagai sumber panas di musim dingin dan **penurun panas (*heat sink*)** di musim panas. Untuk menghilangkan kebingungan, sistem kedua sekarang disebut dengan nama yang lebih deskriptif sebagai ***geo exchange***.

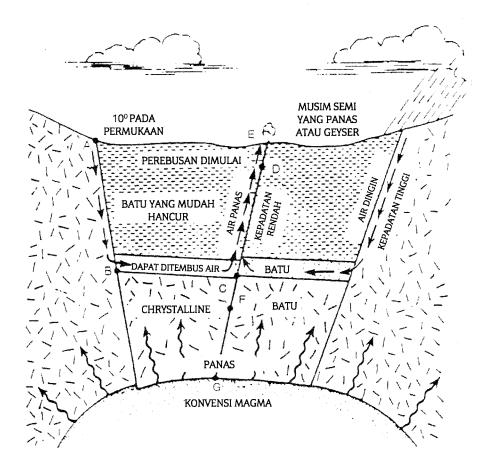
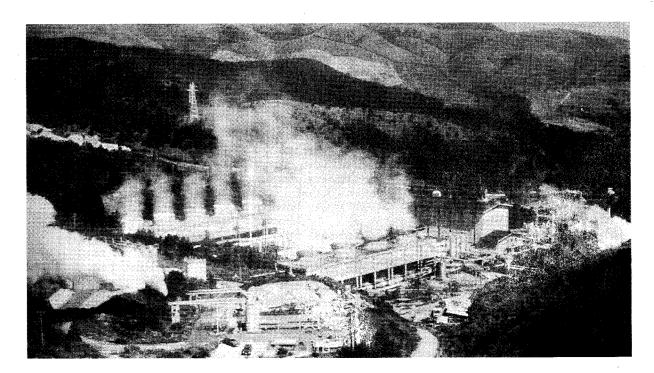
Energi geothermal tersedia di mana panas yang cukup telah dibawa ke dekat permukaan oleh konduksi, *magma*[5] yang menggembung, atau sirkulasi air tanah hingga lapisan yang sangat dalam (Gbr. 2.17l). Di sebagian tempat, seperti Yellowstone, air panas dan uap membawa panas langsung ke permukaan. Lokasi lainnya yang menyerupai, seperti geiser di bagian utara California serta pusat tenaga Hatchobaru di Jepang (Gbr. 2.17m), menggunakan panas untuk membangkitkan listrik. Di berbagai tempat seperti Islandia, energi geotermal juga dimanfaatkan untuk memanaskan bangunan. Meskipun lokasi permukaan jumlahnya sedikit, terdapat sumber yang sangat besar dalam bentuk energi batuan panas di kedalaman 5 hingga 10 mil. Sayangnya, gudang panas yang sangat besar ini belum dapat kita manfaatkan mengingat tingkat teknologi dan kondisi ekonomi kita saat ini belum cukup.

Geo-Exchange

Energi termal tingkat rendah pada suhu normal dari tanah yang tidak terlalu dalam dapat diambil dengan menggunakan pompa panas untuk memanaskan bangunan atau air panas untuk keperluan domestik (pompa panas akan dibahas pada Subbab 16.10). Pompa panas yang sama dapat menggunakan tanah sebagai penurun panas (*heat sink*) pada musim panas. Karena dataran lebih hangat daripada udara di musim dingin, namun lebih sejuk pada musim panas, sebuah **pompa panas yang bersumber dari tanah (*ground-source*)** lebih efisien dibanding **pompa panas normal yang bersumber dari udara (*air-source*)**. Selain itu, meskipun listrik digunakan untuk memompa panas, dan tidak untuk membuatnya, sebuah pompa panas geo-exchange memiliki kemampuan tiga hingga empat kali lebih efisien dibanding pemanas penahan arus listrik (*electric-resistance*).

Penggunaan pompa panas geo-exchange secara signifikan dapat mengurangi konsumsi energi kita dan secara bersamaan mengurangi polusi serta gas dari efek rumah kaca. Pengurangan 40 persen terhadap pompa panas yang bersumber dari udara dan pengurangan 70 persen dibandingkan dengan pemanasan ketahanan-elektrik (*electric-resistance*) serta alat pengendali udara (*air-conditioning*) adalah layak. Lihat Bab 16 untuk mendapat pembahasan yang lebih mendalam mengenai sistem yang sangat bagus ini.

2.18 HIDROGEN

Meskipun hidrogen bukan merupakan salah satu sumber energi, kemungkinan gas ini menjadi kunci utama keberlangsungan ekonomi cukup besar. Hidrogen merupakan energi bahan bakar yang paling ideal dan tidak menghasilkan polusi karena saat dibakar akan menghasilkan air. Bahan ini tidak berkontribusi pada proses kenaikan suhu bumi.

Gambar 2.17l Saat ini, sumber utama energi geothermal berasal dari air yang bersirkulasi jauh di dalam bumi. (Dari "*Sourcebook on the Production of Electricity from Geothermal Energy,*" *DOE.*)

Gambar 2.17m *Hatchobaru Geothermal Power Station* di Jepang (Dari Kyushu Electric Power Co., Inc.)

Hidrogen di bumi ini sangat melimpah, namun semuanya itu terkunci sebagai senyawa air (H_2O). Untuk menghasilkan hidrogen secara gratis, energi diperlukan untuk memecahkan ikatan kimiawi senyawa air. Meskipun terdapat sejumlah metode untuk menghasilkan hidrogen, jika energi yang diperlukan berasal dari sumber energi yang tidak dapat diperbarui, produksi hidrogen ini tidak lagi berkelanjutan *(sustainable)*. Namun di sisi lain, jika proses tersebut memakai energi yang dapat diperbarui, seperti energi biomass, matahari, atau angin, kita akan menghasilkan sebuah bahan bakar yang sangat murni, bersih, dan berkelanjutan *(sustainable)*.

Hidrogen merupakan pasangan yang cocok bagi sumber matahari dan angin, kekurangan utamanya adalah pada penyimpanan energi tersebut. Saat akses listrik telah dibuat hal itu dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen dari air melalui proses elektrolisis. Berikutnya, hidrogen dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik tanpa polusi yang akan dibahas pada subbab 3.22. Hidrogen juga dapat digunakan untuk pembakaran pada perangkat rumah tangga maupun mesin mobil.

Penyimpanan hidrogen yang efisien serta ekonomis, tetap menjadi sebuah permasalahan teknis yang belum mendapatkan solusi. Tangki tipe beban-tinggi berat dan sangat mahal. Untuk menyimpan hidrogen cair, suhunya harus −423 °F (−253 °C). Sebuah solusi yang lebih efisien adalah menyimpan hidrogen di dalam suatu senyawa zat kimia yang disebut **hibrid**.

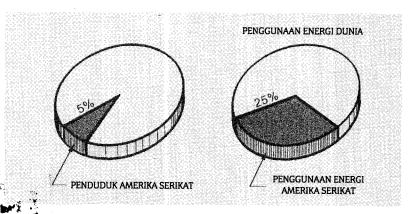
Hidrogen memiliki potensi menjadi bahan bakar yang dapat diperbarui untuk memberi tenaga pada mobil, bangunan, tetapi karena hidrogen bukan sebuah sumber energi, kita masih harus mengembangkan sumber energi yang dapat diperbarui yang telah dibahas di atas.

2.19 KESIMPULAN

> Jika kita mencari jaminan dihadapkan keinginan dan penindasan, kita hanya akan menemukannya di dalam kemakmuran dan kebijakan para tetangga kita, dan lebih dari itu, jika dilihat dari segi pandangan yang lebih luas, berada dalam kondisi kesehatan terbaik di kehidupan dunia kita, kampung halaman kita. Jika kita memang benar-benar mencari sebuah tempat yang aman agar mendapatkan keamanan dan kesuksesan yang pasti, kita akan mulai menaruh perhatian kita pada lingkungan. Lingkungan di sini tidak hanya memiliki makna tetangga manusia, tetapi juga lingkungan air, bumi, udara, tanaman, serta binatang, yakni semua makhluk hidup di mana kita bersama-sama membagi kehidupan ini.
>
> *–Wendell Berry, Penulis*

Jika kita terus-menerus menerapkan cara kita menggunakan energi, maka bisa dinyatakan bahwa saat ini kita tidak sedang meraih keamanan. Justru saat ini juga kita sedang merusak lingkungan, mengubah iklim, serta menggunakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dengan kecepatan yang sangat tinggi (Gbr. 2.19). Jalur kita sekarang tidak mendukung konsep berkelanjutan.

Karena bangunan menggunakan lebih dari sepertiga energi yang digunakan, masyarakat memiliki tanggung jawab maupun kesempatan untuk membuat perubahan berarti dalam pemanfaatan energi. Sebagian besar dari jumlah energi yang dipakai oleh sebuah bangunan merupakan fungsi rancangannya.

Semenjak krisis energi pada tahun 1973, banyak bangunan yang secara sukses memperlihatkan bahwa sebuah bangunan bisa memiliki kemampuan untuk menghemat energi, namun juga masih dapat memiliki nilai estetika yang menakjubkan. Seperti salah satu arsitek kita yang sangat

Gambar 2.19 Negara Amerika Serikat memiliki sekitar 5 persen dari populasi dunia, namun mengonsumsikan sekitar 25 persen energi bumi ini.

tanggap terhadap lingkungan telah menyatakan, "Jika sebuah bangunan mengakibatkan manusia atau binatang ataupun bumi ini sakit, maka bangunan tersebut tidaklah cantik dan bukan merupakan rancangan yang baik." (Wylie, 1994).

Bab-bab berikut ini membahas sejumlah informasi serta alat perancangan yang diperlukan untuk membuat bangunan yang tanggap energi, namun juga memiliki nilai estetika yang baik. Tujuannya adalah untuk mengurangi jumlah energi yang diperlukan bangunan tersebut dengan menggunakan ketiga tingkat/strata pendekatan perancangan: rancangan bangunan itu sendiri, penggunaan sejumlah sistem pasif, dan yang terakhir, sejumlah sistem mekanikal yang efisien.

Karena pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan merupakan hasil konsekuensi manipulasi energi, sangatlah penting untuk memahami beberapa prinsip energi tertentu. Bab 3 (setelah bab ini), akan membahas sebagian konsep dasar dan memperkenalkan hubungan penting lainnya antara energi dan objek.

IDE POKOK BAB 2

1. Kita memanfaatkan kekayaan bumi tanpa memberi perhatian lebih terhadap kebutuhan generasi masa depan kita.
2. Faktor keberlangsungan (*sustainability*) dapat dicapai dengan penerapan konsep 4-R, yaitu *reduce* (mengurangi), *reuse* (menggunakan kembali), *recycle* (daur ulang), serta regenerate (memperbaharui)
3. Rancangan berkelanjutan juga dikenal sebagai rancangan "hijau", ekologis, serta yang tanggap lingkungan.
4. Semakin meningkatnya jumlah penduduk, semakin sulit juga untuk mencapai berkelanjutan *(sustainability)*.
5. Semakin besarnya pemborosan, semakin sulit juga untuk mendapatkan keberlanjutan.
6. Pertumbuhan tanpa batas adalah musuh keberlanjutan.
7. Karena banyak fenomena penting, seperti konsumsi energi, mampu memperlihatkan pertumbuhan eksponensial, dan karena manusia tidak memiliki pengertian yang baik/cukup terhadap implikasi pertumbuhan eksponensial, maka dapat dinyatakan bahwa saat ini sedang dibuat sejumlah keputusan yang kurang tepat mengenai masa depan kita.
8. Keberlangsungan dapat diraih hanya jika kita merancang dan membangun bangunan hemat energi.
9. Penggunaan bahan bakar yang berlebihan akan memberi dampak negatif pada bumi, seperti pemanasan global (*global warming*) serta perubahan iklim pada bumi.
10. Saat ini sebagian besar energi kita berasal dari sumber yang tidak dapat diperbarui dan menghasilkan polusi, seperti batu bara, minyak, gas, serta energi nuklir.
11. Kita harus pindah ke sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak menimbulkan polusi, seperti energi matahari, angin, *biomass*, tenaga air, serta energi panas bumi.
12. Pompa pemanas *Geo-Exchange*, memiliki potensi besar dalam usaha konservasi energi ini.
13. Hidrogen bukan merupakan sumber energi, namun memiliki potensi menjadi bahan bakar yang ramah di masa depan.
14. Arsitek Bob Berkabile menyatakan, "Jika sebuah bangunan mengakibatkan manusia atau binatang atau bumi ini sakit, maka bangunan tersebut tidaklah cantik dan bukan merupakan rancangan yang baik."

Footnotes

[1]*Polynesian*: penduduk yang berasal dari sebuah pemukiman beberapa pulau yang tersebar atau terpencar

[2]*Toggle*: alat elektronik dengan dua pilihan yang dapat dihidupkan atau dimatikan dengan menggunakan tindakan yang sama

[3]*Oil shale*: minyak yang didapat dari batuan tersebut

[4]*Decay*: transformasi spontan inti atom elemen radioaktif ke dalam inti atom elemen yang berbeda

[5]*Magma*: batu karang yang telah lebur yang terdapat di bawah kerak bumi.

REFERENSI

Bartlett, A. "Forgotten Fundamentals of the Energy Crisis." *American Journal of Physics*, September, 1978, 46 (9).

Bartlett, A. "Reflections on Sustainability, Population Growth, and the Environment — Revisited. *Renewable Resources Journal*. Winter, 1997. 6-23.

Butti, K., and J. Perdin. *A Golden Thread*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1980.

Campbell, C., and J. Laherrere. "The End of Cheap Oil." *Scientific American*, March, 1998, 278 (3).

FSEC. "Air-conditioning use cut by 80 percent in Lakeland research home, Cocoa, FL," *Solar Collector*, June/July 1998, 23 (5).

McDonough, W., and M. Braungart. "The Next Industrial Revolution." *The Atlantic Monthly*, October, 1998, 282 (4): 82-92.

Stobaugh, R., and D. Yerkin. *Energy Future—Report of the Energy Project—at the Harvard Business School*. New York: Random House, 1979.

Wylie, A. "Form with a Function" *American West Airlines Magazine*, April, 1994, 57-61.

SUMBER

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

Barnett, D. L., and W. D. Browning. *A Primer on Sustainable Building*.

Bartlett, A. A. "Reflections on Sustainability, Population Growth, and the Environment — Revisited. *"Renewable Resources Journal*. 6-23"

Campbell, C. J., and J. H. Leherrere. "The End of Cheap Oil."

ClimateChange: State of Knowledge.

Commoner, B. *The Politics of Energy*. Crosbie, M. J. *Green Architecture: A Guide to Sustainable Design*.

Crowther, *R. Ecologic Architecture. Environmental Building News*. Lihat Lampiran J.

Daniels, K. *The Technology of Ecological Building*.

Ehrlich, P. R. *The Population Explosion*.

Gelbspan, R. *The Heat is On: The High Stakes Battle Over Earth's Threatened Climate*.

Gipe, P. *Wind Energy Comes of Age*.

———. *Wind Power for Home and Business: Renewable Energy for the 1990's and Beyond*.

Gore, *A. Earth in the Balance. Guiding Principles of Sustainable Design*.

Hawken, P. *The Ecology of Commerce: A Declaration of Sustainability*.

———, P., A. Lovins, and L H. Lovins. *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*.

Jones, D. L. *Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design*.

Lovins, A. B. "Soft Energy Paths."

Lovins, A. B., and L. H. Lovins. "Brittle Power: Energy Strategy for National Security."

Lyle, J. T. *Regenerative Design for Sustainable Development*.

McIntyre, M. "Solar Energy: Today's Technologies for a Sustainable Future."

Miller, B. *Buildings for a Sustainable*.

National Audubon Society and Croxton Collaborative, Architects. *Audubon House: Building the Environmentally Responsible, Energy-Efficient Office*.

Pearson, D. *The New Natural House Book: Creating a Healthy, Harmonious, and Ecologically Sound Home*.

Potts, M. *The New Independent Home: People and Houses that Harvest the SunRecommendations to the United Nations Commission on Sustainable Development: Final Report on the NGO Renewable Energy Initiative*.

Scheer, H. A *Solar Manifesto: The need for a total solar energy supply—and how to achieve it*.

Singh, M. *The Timeless Energy of the Sun for Life and Peace with Nature*.

Van der Ryn, S., annotator. *Designing Sustainable Systems. A Reader*, 1993, Vols. 1 and 2. Mengandung sumber artikel inti yang sudah langka. [Contact Ecological Design Institute—lihat Lampiran J.]

Van der Ryn, S. *The Toilet Papers: Recycling Waste and Conserving Water*. Ecological Design Press, 1995.

Van der Ryn, S., and P. Calthorpe. *Sustainable Communities: A New Design Synthesis for Cities, Suburbs, and Towns*.

Van der Ryn, S., and S. Cowan. *Ecological Design*.

Wilson, E. O. "Is Humanity Suicidal: We're Flirting with the

Extinction of Our Species." *New York* Times *Magazine.*

World Commission on Environment and Development. *Our Common Future.*

Zeiher, L. C. *The Ecology of Architecture: A Complete Guide to Creating the Environmentally* Conscious *Building.*

CD-ROM

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap)

Green Building Advisor—A CD-ROM yang memberi panduan dan saran bagi pendekatan untuk rancangan bertahan lama. Memberikan barbagai macam strategi perancangan bagi para pengguna.

VIDEO

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap.)

Affluenza. KCTS Television

Arithmetic, Population, and Energy. Dr. Albert A. Bartlett. 65 menit.

Building Green: Audubon House. 28 menit.

Case Studies in Sustainable Design. 1 hour, 17 menit.

Ecological Design—Inventing the Future.

Environmental Architecture. 30 menit.

Keeping the Earth: Religious *and Scientific Perspectives on the Environment.* 27 menit.

World Population. ZPG.

ORGANISASI

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap)

American Hydrogen Association
Internet:
(E-mail) aha@getnet.com; www.clean-air.org

American Solar Energy Society
www.csn.net.solar/factbase.htm

National group for renewable-energy education.

Caddet Center for Renewable Energy www.caddet.co.uk

Menyediakan ringkasan proyek-proyek energi yang dapat diperbarui di seluruh dunia.

CREST—Center for Renewable Energy and Sustainable Technology
http://www.crest.org

Comprehensive educational source for renewables.

Energy Efficiency & Renewable Energy

Clearinghouse (EREC)
http://eren.doe.gov/erec/factsheets *Provides free general and technical information on topics and technologies pertaining to energy efficiency and renewable energy, including photo-voltaic systems, solar energy, and solar radiation.*

National Renewable Energy Laboratory
www.nrel.gov
Sumber baik untuk informasi yang terperinci dan diperbarui.

National Pollution Prevention Center for Higher Education
734/764-1412, fax: 647-5841, nppc@ umich.edu
Union of Concerned Scientists
www.ucsusa.org

Informasi mengenai Angin

Data mengenai energi angin dapat diperoleh dari:

American Wind Energy Association (AWEA)
122 C Street, NW, 4th Floor
Washington, DC 20001 (202) 383-2500
Fax (202) 383-2505 www.econet.org/awa

National Climatic Data Center
151 Patton Avenue, Room 120 Ashville, NC 28801 (704) 271-4800
Fax (704) 271-4876
E-mail<orders@ncdc.noaa.gov >
<http://www.ncdc.noaa.gov>

Informasi lainnya mengenai Angin

A Siting Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems.
Battelle Pacific Northwest Laboratory, National Technical Information
Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, 1980.

Park, J. *The Wind Power Book.* Palo Alto, CA: Chesire Books, 1981. *(out of print)*

Gipe, P. *Wind Power for Home* & Business: *Renewable Energy for the 1990s and Beyond.* Chelsea Green Publishing Company, P.O. Box 130, Route 113, Post Mills, VT 05058-0130, 1993.

Wind Energy Resource Atlas of the U.S. Battelle Pacific Northwest Laboratories. Available from the American Wind Energy Association (lihat atas) or the National Technical Information Service (lihat Lampiran J).

BAB 3

PRINSIP DASAR

"If *we are anything, we must be a democracy of the intellect*. Janganlah kita terganggu karena adanya kesenjangan antara masyarakat dan pemerintah, antara masyarakat dan kekuasaan.... Dan bahwa kesenjangan hanya bisa ditangani, ditutup, jika ilmu pengetahuan berada pada setiap rumah tangga dan kepala setiap orang tanpa adanya ambisi untuk mengendalikan orang lain, dan tidak pada kedudukan kekuasaan yang terisolasi."

J. Bronowski
dikutip dari "The Ascent of Man", 1973 (hal. 435)

3.1 PENGANTAR

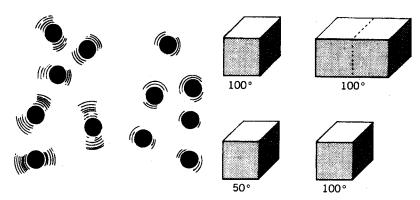
Sistem pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan sebuah bangunan dapat berhasil dengan menambahkan atau mengurangi energi. Pengertian dasar yang baik dilihat dari segi fisika energi dengan beberapa prinsip yang berhubungan satu sama lainnya merupakan prasyarat bagi kebanyakan bahan yang ada pada bab ini. Dengan demikian, bab ini akan memaparkan ulasan beberapa konsep yang sudah dikenal maupun pengantar beberapa konsep yang masih kurang dikenal seperti suhu *mean radiant, time lag,* efek insulasi massa, dan energi yang menjadi satu bagian *(embodied energy)*

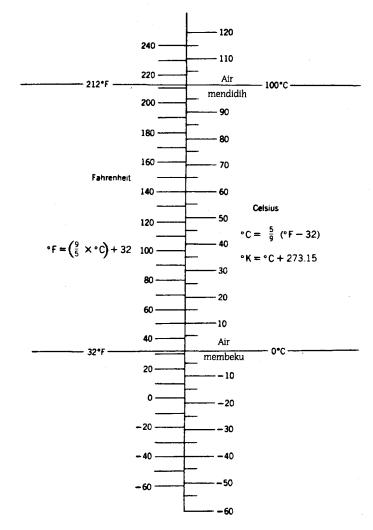
3.2 PANAS

Energi berwujud dalam berbagai bentuk dan sebagian besar bentuk ini digunakan pada berbagai bangunan. Namun, sebagian besar ulasan yang ada pada buku ini lebih mendalami energi yang berbentuk panas, yang terbagi menjadi tiga bentuk berikut ini:

1. panas yang dapat dirasakan/terukur (*sensible heat*)/dapat diukur dengan termometer
2. panas terpendam (*latent heat*) — perubahan wujud atau perubahan fase sebuah materi
3. panas terpancar (*radiant heat*) —sebuah bentuk radiasi magnet listrik

3.3 *SENSIBLE HEAT*

Pergerakan beberapa molekul secara acak merupakan sebuah bentuk energi yang disebut ***sensible heat***. Sebuah benda yang

Gambar 3.3a *Sensible heat* adalah gerakan acak beberapa molekul dan suhu adalah ukuran intenitas pergerakan tersebut.

Gambar 3.3b Jumlah panas yang terukur adalah sebuah fungsi dari suhu dan massa. Pada setiap kasus di atas, balok-balok yang berada di kanan memiliki panas sensible yang lebih banyak daripada balok-balok di kiri.

Gambar 3.3c Konversi: Derajat Fahrenheit – Celsius. (Dikutip dari buku *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, edisi ke-9, *Stein and Reynolds*. © 2000 *John Wiley & Sons, Inc.*)

memiliki gerakan molekul secara acak yang lebih besar dapat dinyatakan menjadi lebih panas dan memiliki lebih banyak udara panas (lihat Gbr. 3.3a). Tipe panas ini dapat diukur dengan alat pengukur suhu (*thermometer*) sehingga dinamakan sebagai *sensible heat* (panas yang dapat diukur). Jika kedua benda pada Gambar. 3.3a saling menyentuh, sebagian gerakan acak benda yang kiri akan berpindah ke benda yang kanan oleh mekanisme aliran panas yang disebut **konduksi**. Molekul tersebut harus berada dalam posisi yang berdekatan agar dapat bertabrakan. Karena molekul di udara berjauhan, udara merupakan elemen yang kurang baik untuk menjadi pengantar panas. Sebuah pengisap tidak membiarkan adanya konduksi.

Suhu merupakan ukuran gerakan acak beberapa molekul. Kita tidak dapat menentukan panas sesungguhnya sebuah benda hanya dengan mengetahui suhunya. Sebagai contoh, pada Gambar. 3.3b (atas), kita dapat melihat dua balok terbuat dari bahan tertentu yang memiliki suhu yang sama. Namun, balok sebelah kanan akan memiliki panas dua kali lipat lebih banyak karena memiliki massa dua kali lipat lebih banyak daripada balok yang kiri.

Massa sendiri juga tidak dapat menentukan panas sesungguhnya sebuah benda. Pada Gambar. 3.3b (bawah), kita dapat melihat dua balok dengan ukuran yang sama, namun salah satu di antaranya memiliki panas yang lebih karena memiliki suhu yang lebih tinggi. Dengan demikian, panas sesungguhnya sebuah benda merupakan gabungan semua massa dan suhu. Massa juga merupakan gabungan dari kapasitas panas yang akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab 3.15.

Di Amerika Serikat, kita masih menggunakan Satuan Termal Inggris (*Brittish Termal Unit-BTU*) sebagai satuan panas kita. Sementara itu, belahan dunia lainnya, termasuk negara Inggris, menggunakan satuan Sistem Internasional (*System International-SI*) yang dinamakan *joule* atau *calories*. Jumlah panas yang diperlukan untuk mengangkat 1 pound air 1°F dinamakan satu BTU.

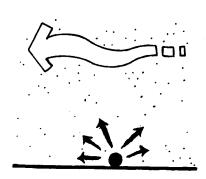
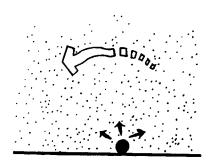
	US System	SI System
Panas	BTU	Joule atau Kalori
Suhu*	Derajat Fahrenheit (°F)	Derajat Celcius (°C)

*untuk perbandingan lihat Gambar. 3.3c.

Gambar 3.4 Panas terpendam (*latent-heat*) adalah jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah wujud sebuah materi (perubahan fase), dan perubahan ini tidak dapat diukur dengan termometer. Nilai yang diberi di sini adalah untuk 1 pound air, es, atau uap.

3.4 PANAS TERPENDAM (*LATENT HEAT*)

Dengan menambahkan 1 BTU panas ke 1 pound air, suhu akan meningkat 1°F. Namun, akan dibutuhkan 144 BTU untuk mengubah 1 pound es menjadi 1 pound air dan sekitar 1.000 BTU untuk mengubah 1 pound air menjadi 1 pound uap. Dibutuhkan energi yang sangat besar untuk memecahkan ikatan antarmolekul saat terjadinya perubahan wujud. "Panas dari penggabungan" dibutuhkan untuk mencairkan sebuah benda padat, dan "panas dari penguapan" dibutuhkan untuk mengubah cairan menjadi gas. Perhatikan juga bahwa airnya tidak lebih panas daripada es yang

dimaksud dan gasnya juga tidak lebih panas daripada air yang dimaksud walaupun banyak panas telah ditambahkan. Tenaga panas, yang sangat nyata, namun tidak dapat diukur dengan alat pengukur suhu (*thermometer*), inilah yang dinamakan panas terpendam (*latent heat*). Dalam pencairan es atau penguapan air, panas yang dapat diukur (*sensible heat*) berubah menjadi panas yang terpendam (*latent heat*). *Latent heat* merupakan sebuah bentuk padat dan tidak menyusahkan untuk penyimpanan dan pemindahan panas. Walaupun demikian, karena titik lumer dan titik didih air tidak selalu sesuai, kita dapat menggunakan bahan lain seperti "Freon" yang memiliki suhu lumer dan suhu didih yang tepat yang diperlukan untuk mesin pendingin.

Gambar 3.5 Kecepatan pendinginan melalui penguapan merupakan perpaduan kelembapan dan pergerakan udara.

3.5 PENDINGINAN DENGAN PENGUAPAN

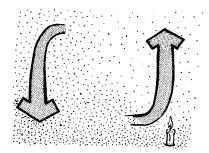
Saat keringat menguap dari kulit, dibutuhkan panas yang cukup tinggi. Panas penguapan ini diambil dari kulit, yang kemudian akan didinginkan di pertengahan proses. *Sensible heat* dalam kulit ini diubah menjadi *latent heat* pada uap air.

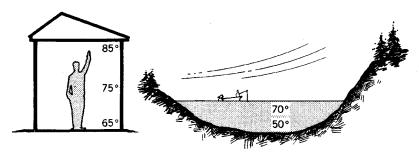
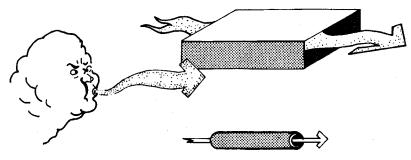
Saat air menguap, udara yang berada di sebelah kulit menjadi lembap dan akhirnya terlarut. Uap air yang ada pada udara berikutnya akan memberhentikan proses penguapan. Dengan demikian, untuk membuat pendinginan dengan penguapan menjadi efisien akan diperlukan sebuah pergerakan udara untuk menggerakkan udara lembap atau udara yang sangat kering ini (Gbr. 3.5).

Bangunan juga dapat didinginkan dengan penguapan. jika air yang disemprotkan pada atap bangunan dapat mengurangi suhu bangunan tersebut cukup besar. Pada daerah yang beriklim kering, udara yang memasuki bangunan dapat didinginkan dengan teknik penyemprotan air ini. Teknik tersebut akan dijelaskan lebih lanjut dalam pada Bab 10.

3.6 KONVEKSI

Saat gas atau cairan mendapatkan panas melalui konduksi, cairan tersebut akan mengembang dan menjadi tidak begitu padat. Setelah itu, ia akan naik dan mengambang di atas cairan yang lebih padat dan yang lebih dingin seperti yang terlihat pada Gambar. 3.6a. Hasil arus pemindahan panas dengan mekanisme di atas dinamakan **konveksi alami**. Mekanisme pemindahan panas ini sangat bergantung pada gravitasi sehingga panas tidak pernah berkonveksi menurun. Karena kita hidup dengan lautan udara, konveksi alami merupakan mekanisme pemindahan panas yang sangat penting.

Arus konveksi alami cenderung membuat lapisan dengan suhu berbeda. Di dalam ruangan, udara panas berkumpul dekat daerah plafond, sedangkan udara dingin berkumpul dekat daerah lantai (Gbr.3.6b). Pembentukan pelapisan udara seperti ini dapat menjadi sebuah nilai lebih pada musim panas dan rintangan saat musim dingin. Strategi yang tepat untuk menangani fenomena ini akan dibahas lebih lanjut pada buku ini. Kondisi yang sama dapat kita temukan pada danau yang tidak memiliki arus air yang sangat kencang, di mana pada bagian atas permukaan air akan lebih hangat dibanding dengan air pada permukaan paling bawah yang dingin (Gbr.3.6b).

Gambar 3.6a Arus konveksi alami merupakan akibat adanya perbedaan suhu.

Tipe konveksi yang berbeda terjadi saat udara digerakkan oleh kipas atau angin, atau saat air digerakkan oleh pompa (Gbr.3.6c).

Gambar 3.6b Susunan yang berlapis merupakan hasil konveksi alami kecuali jika terdapat kekuatan lain untuk mencampur udara atau air.

Gambar 3.6c Konveksi paksa disebabkan oleh angin, kipas, atau pompa.

Saat zat yang dapat mengalir (gas atau cairan) digerakkan antara daerah yang panas dan dingin, panas akan dipindahkan melalui mekanisme yang dinamakan **konveksi paksa**.

3.7 PENGANGKUTAN

Pada abad ke-18 dan ke-19, sering digunakan panci khusus yang berfungsi sebagai penghangat tempat tidur. Panci pemanas ini seperti terlihat pada Gambar. 3.7 ini, memiliki diameter sekitar 12 inchi dan kedalaman 4 inci, dengan gagang terbuat dari kayu. Sebagai pengisi panci dimasukkan batu bara panas yang telah diambil langsung dari perapian. Lalu panci tersebut dibawa ke ruang tidur dan diletakkan di antara lapisan seprei untuk menghilangkan dingin pada tempat tidur tersebut. Pada abad ke-20 awal, untuk tujuan yang sama dengan di atas, botol berisi air panas merupakan perangkat baru yang lebih sering dipakai. Pemindahan panas dengan materi yang digerakkan dinamakan **pengangkutan**. Saat ini, untuk perpindahan pada bangunan, konveksi panas sangat lebih diminati dibandingkan dengan pengangkutan karena lebih praktis.

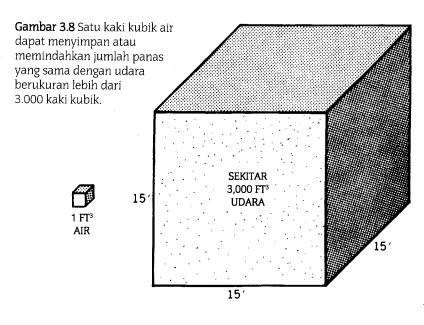
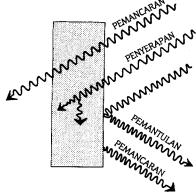
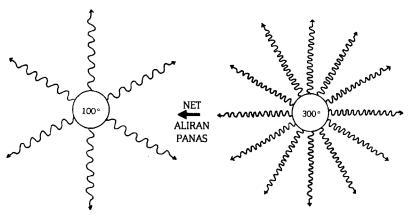
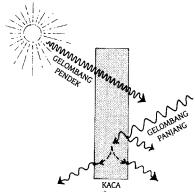
Gambar 3.7 Panci penghangat serta botol isi air panas sangat digemari untuk memindahkan panas dari perapian atau kompor ke tempat tidur yang dingin.

3.8 PENGANTAR PENGANGKUT ENERGI

Pada pemanasan dan pendinginan berbagai bangunan, salah satu keputusan dalam perancangan yang penting adalah pemilihan pengantar pengangkut energi. Alternatif materi yang paling sering terpilih adalah udara dan air. Oleh karena itu, memahami kapasitas relatif panas yang dipertahankan (*heat-holding*) oleh kedua materi tersebut akan sangat penting. Karena udara memiliki berat jenis jauh lebih rendah dan spesifik panas dibanding air, sebagian besar kedua kemampuan tersebut diperlukan untuk menyimpan dan mengangkut panas. Untuk melakukan penyimpanan dan pengangkutan panas dengan jumlah yang sama diperlukan volume udara sekitar 3.000 kali lebih besar daripada volume air (Gbr.3.8 di halaman 52).

3.9 RADIASI

Bentuk ketiga dari panas adalah *radiant heat*. Itu merupakan bagian spektrum magnit-elektro *(electromagnetic)* yang disebut infra merah. Semua bahan yang menghadap sebuah ruang udara atau ruang vakum akan mengeluarkan dan menyerap energi

Gambar 3.8 Satu kaki kubik air dapat menyimpan atau memindahkan jumlah panas yang sama dengan udara berukuran lebih dari 3.000 kaki kubik.

Gambar 3.9b Empat tipe interaksi berbeda dapat terjadi antara energi dan material.

Gambar 3.9a Walaupun semua benda menyerap dan mengeluarkan energi, akan terdapat sebuah *net radiant flow* dari benda yang lebih panas menuju ke benda yang lebih dingin.

Gambar 3.9c Tipe interaksi tergantung tidak hanya pada sifat dasar materi tersebut, tetapi juga pada panjang gelombang dari radiasi.

radiant secara terus-menerus. Bahan yang sudah panas akan menghilangkan panas dengan radiasi karena mereka mengeluarkan energi lebih banyak dibanding dengan yang diserap (Gbr.3.9a). Benda yang bersuhu ruang memancar pada bagian infra merah dari spektrum magnit-elektro, sedangkan untuk benda yang sudah cukup panas akan bersinar mengeluarkan panas pada bagian spektrum terlihat. Dengan demikian, panjang gelombang atau frekuensi dari radiasi yang dikeluarkan merupakan fungsi benda tersebut.

Radiasi tidak terpengaruh oleh gravitasi, maka sebuah bahan tidak akan mengeluarkan panas ke bawah sebesar bahan tersebut mengeluarkannya ke atas. Walaupun demikian, radiasinya terpengaruh oleh sifat dasar materi karena ia berinteraksi terutama pada permukaan materi tersebut. Keempat interaksi yang memungkinkan, seperti yang telah digambarkan oleh Gambar. 3.9b adalah sebagai berikut:

1. Pemancaran (*Transmittance*): situasi di mana radiasi melewati materi
2. Penyerapan (*Absorptance*): situasi di mana radiasi diubah menjadi sebuah panas yang terukur *(sensible heat)* pada material.
3. Pemantulan (*Reflectance*): situasi di mana radiasi dipantulkan permukaan.

4. Pemancaran (*Emittance*): situasi di mana radiasi dilepaskan oleh permukaan sehingga mengurangi isi panas objek yang sensible dari objek. Permukaan besi yang mengkilap memiliki pengeluaran yang rendah, sedangkan sebagian besar materi yang ada memiliki pengeluaran yang tinggi.

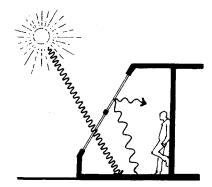
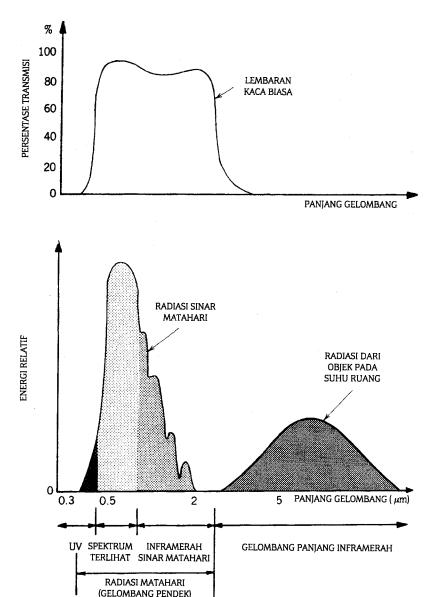
Tipe interaksi yang terjadi bukan hanya pada fungsi materi, melainkan juga pada panjang gelombang (frekuensi) radiasinya. Sebagai contoh, kaca berinteraksi sangat berbeda dengan radiasi matahari (frekuensi pendek) dibandingkan dengan radiasi termal (panjang gelombang infra merah), seperti yang terlihat pada Gambar. 3.9c. Kaca sebagian besar transparan terhadap gelombang pendek dan kaca buram terhadap radiasi gelombang panjang. Radiasi gelombang panjang sebagian besar akan terserap sehingga memanaskan kaca tersebut. Sementara itu, sebagian besar radiasi yang terserap kemudian teradiasi ulang oleh kaca ke dalam dan ke luar. Akibatnya, sebagian radiasi gelombang panjang akan tertahan oleh kaca tersebut. Efek rumah kaca, yang diuraikan di bawah, merupakan sebagian besar hasil dari sifat kaca ini dan oleh sebagian besar sifat bahan plastik yang berfungsi sebagai lapisan kaca Polythelene merupakan pengecualian karena transparansinya terhadap infra merah.

3.10 EFEK RUMAH KACA

Dalam usaha memahami **efek rumah kaca**, sangat penting juga untuk memahami energi matahari dan iklim. Efek rumah kaca merupakan hasil interaksi yang terjadi antara sebuah material dan energi yang memancar tergantung panjang gelombang radiasi tersebut.

Gambar. 3.10a menggambarkan konsep dasar efek rumah kaca. Gelombang pendek radiasi matahari dapat dengan mudah menembus kaca, lalu diserap oleh benda yang berada di dalam ruang. Saat benda tersebut menghangat, akan meningkatkan pemancaran radiasi pada porsi gelombang panjang dari spektrum magnet listrik. Karena kaca akan buram terhadap radiasi ini, sebagian besar energi akan terperangkap. Rumah kaca menimbulkan sebuah perangkap panas yang membuat suhu dalam ruang meningkat.

Untuk mendapatkan pengertian lebih jelas terhadap konsep penting ini, lihat grafik yang ada pada Gambar. 3.10b. Perhatikan grafik yang di atas, yang menjelaskan perilaku kaca dan radiasi. Persentase transmisi diberikan sebagai fungsi panjang gelombang. Perhatikan bahwa kaca memiliki transmisi yang tinggi untuk radiasi antara 0.3 dan 3 μm, serta nol transmisi untuk radiasi di atas dan di bawah "jendela". Ini berarti bahwa kaca akan transparan terhadap radiasi gelombang pendek dan buram terhadap radiasi gelombang panjang. Ia sangat "selektif" terhadap apa yang boleh menembusnya. Gabungan grafik memperlihatkan bagian spektrum magnet listrik di mana kaca transparan cocok terhadap radiasi matahari dan kaca buram cocok terhadap panas radiasi yang dikeluarkan dari benda pada suhu ruang (Lihat grafik bawah pada Gbr.3.10b). Radiasi matahari masuk menembus kaca lalu diserap oleh benda dalam ruangan. Benda ini memanas lalu meningkatkan pemancaran mereka kembali pada spektrum gelombang panjang infra merah. Karena kaca tidak tembus radiasi, sebagian energi terperangkap, dan ruangan akan memanas. Ini merupakan salah satu mekanisme efek rumah kaca. Mekanisme utama lainnya dari efek rumah kaca adalah fakta bahwa lapisan kaca menghentikan pengurangan 'konveksi' dari udara yang panas. Mekanisme ini bersama kualitas "selektif" membentuk suatu perangkap panas yang efektif.

Beberapa observasi tambahan dilaksanakan dengan memperhatikan grafik ini. Yang pertama adalah, bahwa energi matahari terdiri dari 5 persen ultraviolet, 45 persen cahaya yang dapat dilihat, dan 50 persen radiasi infrared. Untuk membedakan infrared ini dengan yang dilepaskan oleh objek di suhu ruangan,

Gambar 3.10a Efek rumah kaca sebagian besar merupakan konsekuensi dari lapisan kaca yang memberi masuk gelombang pendek sinar matahari, namun menghalangi radiasi gelombang panjang.

Gambar 3.10b Kedua grafik ini memperlihatkan secara vertikal dan dapat dilihat dari panjang gelombangnya. Terlihat bahwa kaca memiliki 85 persen transmisi untuk radiasi gelombang pendek (matahari) dan mentransmisikan sekitar 0 persen untuk radiasi gelombang panjang.

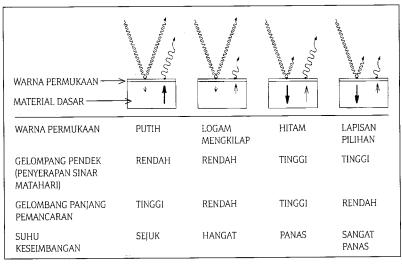
frase "gelombang-pendek *(short-wave)*" dan "gelombang panjang *(long-wave)*" ditambahkan secara berturut-turut. Demikian pula, radiasi ultraviolet memiliki ukuran gelombang *(wavelength)* yang lebih pendek dan lebih panjang. Bagian spektrum ultraviolet yang dapat mengakibatkan luka bakar terblokir oleh kaca, namun bagian yang dapat memudarkan warna tidak.

3.11 KESEIMBANGAN SUHU PADA SEBUAH PERMUKAAN

Memahami pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan bangunan membutuhkan ilmu pengetahuan yang cukup mengenai perilaku dari tenaga memancar. Sebagai contoh, warna apa yang paling cocok sebagai pengumpul panas matahari dan warna apa yang paling cocok untuk sebuah atap agar menolak panas matahari di musim panas? Gambar. 3.11 menggambarkan bagaimana permukaan dengan berbagai macam warna dan pelapis berinteraksi dengan tenaga memancar. Untuk memahami mengapa sebuah lempengan logam hitam akan menjadi lebih hangat saat tersorot matahari, dibanding dengan yang berwarna putih, kita harus mengingat bahwa setiap materi bervariasi dalam caranya memancar dan menyerap tenaga memancar. Keseimbangan antara yang diserap dengan yang dipancarkan akan menentukan sejauh mana lempengan tersebut menjadi panas, **suhu keseimbangan.** Suhu keseimbangan warna hitam lebih tinggi dari warna putih karena daya penyerapannya yang lebih tinggi. Namun, hitam bukan merupakan pengumpul energi radiant yang ideal karena daya pancarnya juga tinggi. Suhu keseimbangan tertahan karena memancarkan kembali sebagian besar energi yang telah diserap.

Untuk meningkatkan efisiensi pada pengumpul panas matahari, sebuah tipe **permukaan selektif** telah dikembangkan. Salah satu tipe tersebut memiliki tingkat penyerapan setinggi warna hitam, namun lebih hemat dalam memancarkan radiasi. Dengan demikian, suhu keseimbangannya sangat tinggi.

Putih merupakan warna terbaik untuk meminimalisasi penambahan panas pada musim

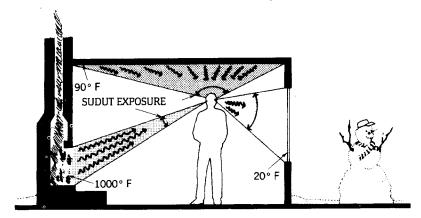
WARNA PERMUKAAN	PUTIH	LOGAM MENGKILAP	HITAM	LAPISAN PILIHAN
GELOMPANG PENDEK (PENYERAPAN SINAR MATAHARI)	RENDAH	RENDAH	TINGGI	TINGGI
GELOMBANG PANJANG PEMANCARAN	TINGGI	RENDAH	TINGGI	RENDAH
SUHU KESEIMBANGAN	SEJUK	HANGAT	PANAS	SANGAT PANAS

Gambar 3.11 Suhu keseimbangan merupakan konsekuensi dari penyerapan serta pengeluaran karakteristik material tersebut.

panas karena putih tidak hanya merupakan penyerap yang tidak baik, tetapi juga baik dalam memancarkan energi yang telah diserapnya. Oleh karena itu, putih jarang sekali menyerap panas, dan hasilnya suhu keseimbangan yang rendah. Suhu permukaan yang rendah ini memperkecil penambahan panas pada material di bawah permukaan.

Permukaan logam mengkilap, seperti aluminium dapat digunakan sebagai bahan isolasi karena tidak menyerap atau memancarkan radiasi dengan cepat. Atas dasar alasan ini, lembaran aluminium terkadang digunakan dalam dinding sebagai penghalang pemancar. Walaupun demikian, suhu keseimbangan permukaan logam mengkilap lebih tinggi daripada yang berwarna putih karena logam memancarkan apa saja yang telah diserapnya. Selain itu, walaupun putih dan logam mengkilap memiliki persentase memantulkan sinar matahari yang hampir sama, warna putih mampu memancarkan lebih banyak radiasi panas sehingga ia akan lebih dingin saat berada di bawah sinar matahari daripada logam mengkilap.

3.12 *MEAN RADIANT TEMPERATURE (MRT)*

Untuk menentukan apakah sebuah badan akan menjadi penambah atau pengurang pancaran energi, kita harus mempertimbangkan baik suhu maupun sudut *exposure* terhadap badan yang bersangkutan. *Mean Radiant Temperature* (MRT) menggambarkan lingkungan pemancaran pada sebuah titik di sebuah ruang. Sebagai contoh, dampak pemancaran wajah seseorang saat di depan perapian (Gbr.3.12) cukup tinggi karena suhu api sekitar 1.000°F lebih akibat konpensasi sudut exposure yang kecil. Sebuah plafon yang memiliki daya pancar mampu memberi efek penghangatan hampir sama, tetapi dengan suhu jauh lebih rendah (90°F) karena permukaannya yang luas menghasilkan sudut exposure yang lebih besar. Efek memancar ini juga bisa berdampak negatif, seperti saat seseorang berdiri di depan jendela yang dingin.

Berjalan menuju sebuah api (Gbr.3.12) akan meningkatkan MRT, sedangkan berjalan menuju jendela yang dingin akan menghasilkan MRT yang lebih rendah karena ukuran relatif sudut exposure akan berubah. Banyak "hembusan angin dingin" dekat jendela-jendela besar pada musim dingin sebenarnya merupakan misinterpretasi dari MRT yang rendah. Efek signifikan MRT pada kenyamanan termal akan dijelaskan lebih terperinci di bab berikutnya.

Gambar 3.12 *Mean Radiant Temperture (MRT)* pada setiap saat merupakan hasil kombinasi efek suhu permukaan dan sudut *exposure*.

3.13 ALIRAN PANAS

Panas secara alami mengalir dari suhu yang lebih tinggi menuju suhu yang lebih rendah, namun tidak harus dari jumlah panas yang lebih banyak menuju yang lebih sedikit. Agar dapat memahami hal ini lebih baik, kita dapat memerhatikan analogi air. Di analogi ini, ketinggian permukaan air mewakili perbedaan suhu antara dua sumber panas dan volume air mewakili jumlah panas yang ada.

Karena kedua waduk berada pada ketinggian permukaan yang sama seperti terlihat pada Gambar. 3.13 (atas), maka tidak terjadi aliran. Fakta adanya lebih banyak air (panas) di satu sisi dibanding di sisi lainnya bukan merupakan sebuah konsekuensi.

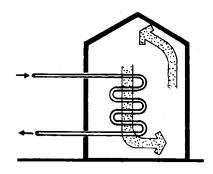
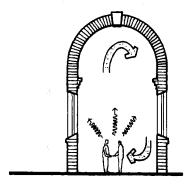
Namun, jika ketinggian permukaan waduk tidak sama, maka akan terjadi aliran, seperti yang terlihat pada Gambar. 3.13 (bawah). Perhatikan bahwa hal ini terjadi juga walaupun saat jumlah air (panas) lebih sedikit pada sisi yang lebih tinggi. Seperti air yang hanya akan mengalir ke bawah, maka panas hanya akan mengalir dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah.

Untuk memindahkan air ke permukaan yang lebih tinggi diperlukan sebuah jenis pompa. Panas, sama saja, dapat diangkat ke suhu yang lebih tinggi hanya dengan sejenis "pompa panas" yang akan bekerja melawan arah aliran alami. Mesin pendingin udara yang merupakan perangkat penting dalam mendinginkan udara, atau lemari es, memompa panas dari suhu yang lebih rendah ke suhu yang lebih tinggi. Hal ini akan dijelaskan lebih terperinci pada Bab 16.

Gambar 3.13 Analogi air yang memperlihatkan bagaimana suhu dan bukan kadar panas yang menentukan alur panas.

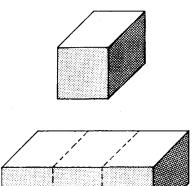
3.14 PANAS TENGGELAM *(HEAT SINK)*

Sangatlah gampang untuk melihat bagaimana pengangkutan air panas ke sebuah ruangan juga memberi panas ke dalam ruang itu. Namun, tidak akan diketahui bagaimana air dingin dapat mendinginkan ruangan. Apakah kita memasok *"coolth"*? Konsep khayalan ini sangat membingungkan dan sebaiknya tidak dipakai. Sebuah konsep yang benar dan lebih bermanfaat adalah konsep ***heat sink*** **(panas tenggelam)**. Pada Gambar.3.14 (atas) ruangan didinginkan dengan air dingin yang berperilaku sebagai panas tenggelam. Air tersebut menjadi lebih hangat, sedangkan ruangan menjadi lebih dingin.

Sering kali struktur masif sebuah bangunan berlaku sebagai panas tenggelam. Banyak bangunan masif yang terasa nyaman dan dingin walau di musim panas, seperti yang terlihat di Gambar. 3.14. Pada malam hari, bangunan

Gambar 3.14 Efek pendinginan panas yang menurun (*heat sink*) merupakan hasil cairan yang dingin atau dari massa bangunan itu sendiri.

ini mengeluarkan panasnya dengan cara konveksi terhadap udara malam yang sejuk dan radiasi terhadap udara dingin – dengan demikian, ia mengisi ulang kemampuan panas tenggelamnya untuk esok hari. Walaupun demikian, pada daerah lembap suhu malam yang tinggi menghalangi efektivitas pengisian ulang panas tenggelam, dan konsekuensinya, bangunan masif tidak berguna.

3.15 KAPASITAS PANAS

Jumlah panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu sebuah material sebesar 1 °F dinamakan **kapasitas panas** material. Kapasitas panas untuk setiap material berbeda, namun secara keseluruhan material yang lebih berat memiliki kapasitas panas lebih

Gambar 3.15 Karena 1 kaki kubik air dapat menyimpan jumlah panas yang sama dengan 3 kaki kubik beton, kapasitas panas volumetrik beton adalah sepertiga dari air.

tinggi. Air merupakan zat yang luar biasa dengan kapasitas panas tertinggi walaupun mempunyai berat yang sedang. Dalam arsitektur, kita sering kali lebih tertarik pada kapasitas panas setiap volume dibanding kapasitas setiap pound yang lebih dikenal sebagai **panas tertentu**. Setiap volume pada Gambar. 3.15 memiliki kapasitas panas yang sama. Mohon dicatat lagi perbedaan dramatis pada kapasitas panas antara udara dan air pada Gambar. 3.8. Hal ini memperlihatkan mengapa air sering kali digunakan untuk menyimpan atau mengangkut panas. Lihat Tabel 7.17A untuk kapasitas panas dari berbagai macam bahan dasar.

3.16 DAYA TAHAN TERMAL

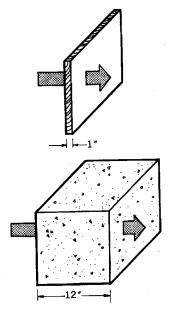
Perlawanan oleh material dan ruang udara terhadap aliran panas dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi dinamakan **daya tahan termal**. Dengan mengetahui daya tahan sebuah material, kita dapat memprediksi berapa besar panas yang akan mengalirinya dan membandingkan material tersebut. Sebagian besar daya tahan termal bahan bangunan merupakan fungsi jumlah dan ukuran ruang udara yang dimilikinya. Sebagai contoh, kayu 1 inci memiliki daya tahan termal yang sama dengan 12 inci beton, terutama karena ruang udara yang dibuat oleh sel yang terdapat pada kayu (Gbr.3.16). Namun, ini hanya akan terjadi pada saat kondisi stabil, misalnya, suhu keseluruhan materi tetap konstan sepanjang waktu yang cukup lama. Di bawah kondisi suhu yang dinamis, sebuah beton yang berukuran 12 inci akan tampak memiliki daya tahan aliran panas yang lebih dibanding kayu 1 inci. Untuk lebih mengerti hal ini, kita harus mempertimbangkan konsep *time lag*, yang dijelaskan di Subbab 3.18. Karena unit daya tahan termal rumit dan susah untuk dihapal, tulisan ilmiah sering kali memberikan istilah daya tahan termal dengan "R-value" (lihat Kotak 3.16).

KOTAK 3.16

*Unit daya tahan panas atau nilai-B $= \dfrac{ft^2 \times {}^\circ F}{BTU/h}$

di mana BTU/h = aliran panas tiap jam

atau dalam SI, Nilai-R $= \dfrac{m^2 \times {}^\circ C}{W}$

dimana m = meter
°C = Derajat Celsius
W = watt
1 W = 3.412 BTU/h

Gambar 3.16 Besar aliran panas pada kedua material ini sama karena daya tahan termal kayu dua belas kali besar beton.

3.17 KOEFISIEN ALIRAN PANAS

Sebagian besar tulisan ilmiah menggambarkan karakteristik termal sistem dinding atau atap dengan koefisien aliran panas "U"

KOTAK 3.17

$$U = \frac{1}{R_T}$$

dimana U = Koefisien-U
R_T = Daya tahan total = ΣR

dibanding dengan total daya tahan termal. Karena koefisien aliran panas merupakan sebuah ukuran aliran panas (*conductance*),[1] hal itu merupakan kebalikan dari daya tahan termal (lihat Kotak 3.17 di halaman 57).

3.18 PENUNDAAN WAKTU (*TIME LAG*)

Pertimbangkan apa yang akan terjadi saat dua dinding dengan **daya tahan panas yang sama,** 12 inchi beton dan 1 inci kayu, pertama kali diberikan perbedaan suhu. Mari kita umpamakan dinding beton dan dinding kayu mempunyai suhu di satu sisi adalah 100 °F dan 50 °F di sisi lainnya. Panas akan mengalir menembus beton, tetapi panas yang masuk pertama akan digunakan untuk meningkatkan suhu material masif tersebut. Hanya setelah dinding dihangatkan secara besar-besaran, panas dapat ke luar dari sisi yang satu lagi. Di sisi lain, penundaan konduksi panas sangat pendek untuk 1 inchi kayu karena memiliki kapasitas panas yang rendah. Fenomena penundaan aliran panas ini dikenal sebagai ***time lag*** **(penundaan waktu)**.

Konsep ini dapat dipahami lebih gampang dengan menggunakan analogi air, yaitu saat air mengaliri tangki *'in-line storage'* mewakili kapasitas termal sebuah material (Gbr.3.18). Tangki yang kecil mewakili 1 inci kayu (kapasitas panas kecil) dan tangki yang besar mewakili 12 inci beton (kapasitas panas besar). Setelah empat jam, air (panas) mengaliri sistem yang berkapasitas kecil, tetapi tidak mengaliri sistem yang berkapasitas besar. Dengan demikian, material berkapasitas besar memiliki penundaan waktu yang lebih lama dibanding yang berkapasitas kecil. Catat juga bahwa fenomena penundaan waktu berakhir saat tangki sudah penuh. Saat kondisi stabil tidak ada *time lag*.

Gambar 3.18 Analogi air dari penundaan waktu (*time-lag*) ini menggambarkan bagaimana kapasitas tinggi dapat menghambat jalur air. Dengan cara yang sama, kapasitas panas tinggi menunda pemancaran panas. Hal ini hampir sama dengan alur panas melewati antara 1 inci kayu (kapasitas kecil) atau 12 inci beton (kapasitas besar).

3.19 EFEK INSULASI MASSA

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik, maka material masif ini akan berperilaku seolah ia memiliki daya tahan termal yang besar. Mari kita bayangkan sebuah rumah beton masif di daerah gurun pasir di musim panas. Sebuah dinding dari bangunan masif ini terlihat dalam tiga waktu yang berbeda dalam satu hari (Gbr.3.19). Pada pukul 11 pagi suhu ruang dalam lebih rendah dibanding suhu ruang luar sehingga panas akan mengalir ke dalam. Walaupun demikian, sebagian besar panas ini dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Pada pukul 4 sore suhu ruang luar sangat tinggi. Walaupun sebagian suhu tersebut saat ini sudah memasuki ruang dalam, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Pada pukul 9 malam suhu ruang luar telah cukup menurun menjadi di bawah suhu ruang dalam dan khususnya suhu dinding. Sekarang sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir ke luar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah. Dalam situasi seperti ini, *time lag* bahan bangunan masif ini "me-

Gambar 3.19 Efek mengisolasi massa lebih banyak terjadi pada iklim panas-kering di musim panas.

misahkan" bangunan dari suhu luar yang tinggi. Penting untuk dicatat keuntungan *time lag* adalah jika suhu ruang luar meningkat dengan drastis. Semakin besar pergerakan suhu harian, semakin besar efek 'pemisahan' pada massa. Dengan demikian, efek 'memisahkan' massa lebih menguntungkan pada iklim panas dan kering selama musim panas. Efek ini tidak bermanfaat pada iklim dingin di mana suhu akan berada di bawah suhu ruang dalam secara konsisten dan hanya akan sedikit membantu pada iklim yang lembap di mana perbedaan suhu harian kecil. Pada iklim yang sangat lembap, masa termal dapat menjadi faktor yang merugikan dan sebaiknya dihindari.

3.20 KONVERSI ENERGI

Hukum Termodinamika yang pertama menyatakan bahwa energi tidak bisa dibuat ataupun dihilangkan, hanya dapat berubah bentuk. Namun, walaupun energi tidak bisa dihilangkan, hukum kedua Termodinamika menyatakan bahwa kemampuan energi untuk bekerja dapat menurun. Sebagai contoh, uap bersuhu tinggi dapat untuk membangkitkan listrik dengan penggunaan turbin uap, sedangkan dengan jumlah panas yang sama dalam bentuk air hangat tidak dapat untuk melakukan hal ini. Listrik merupakan salah satu bentuk energi tingkat tinggi dan jika digunakan dengan sengaja untuk membangkitkan panas tingkat rendah hanya akan membuang-buang energi. Sinar matahari adalah sumber energi tingkat tinggi. Bentuk ini seharusnya dimanfaatkan untuk menyinari bangunan sebelum berubah menjadi panas, daripada mengubah cahaya langsung jadi panas.

Gambar. 3.20 menggambarkan konversi perubahan bahan bakar *fosil* menjadi tenaga listrik. Penghematan yang rendah (sekitar 30 persen) merupakan konsekuensi angka yang besar terhadap jumlah konversi yang dibutuhkan. Dengan demikian, tenaga listrik sebaiknya tidak digunakan jika terdapat alternatif lain yang lebih baik. Sebagai contoh, memanaskan secara langsung dengan bahan bakar fosil dapat menghemat hingga lebih dari 80 persen.

Gambar 3.20 Pada konversi bahan bakar *fossil* menjadi listrik, sekitar 70 persen energi awal akan hilang.

3.21 KOMBINASI PANAS DAN TENAGA

Kombinasi panas dan tenaga (*Combined Heat and Power –CHP*) yang juga dikenal sebagai ***cogeneration*** akan mengurangi penurunan energi saat memproduksi listrik. Melalui pembangkit listrik di lokasi bangunan bisa menghemat listrik mencapai hingga 80 persen. Panas yang biasanya terbuang dari pusat tenaga listrik dapat dimanfaatkan untuk pemanasan keperluan domestik seperti memanaskan air atau ruangan (Gbr.3.21a). Selain itu juga, pengurangan transmisi listrik di jalan hampir dieliminasi semua. Unit paket kombinasi panas dan tenaga yang kompak dan bebas perawatan telah beredar dijual sesuai untuk berbagai macam ukuran bangunan (Gbr.3.21b)

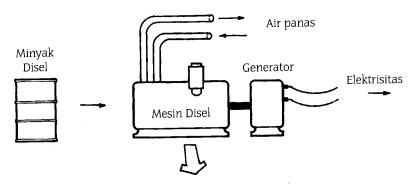
3.22 *FUEL CELLS*

Kombinasi panas dan tenaga (*Combined Heat and Power –CHP*), bisa lebih efisien jika sebuah fuel

cells dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Karena fuel cells aman, bersih, tidak bersuara, rendah perawatan, compact, sehingga dapat ditempatkan pada bangunan apa saja. Dengan demikian, tidak ada transmisi yang hilang dan panas yang terbuang dapat dipakai.

Full cells diberi tenaga oleh hidrogen dan oksigen di udara untuk membentuk air, listrik, dan panas. Tidak ada pemancaran yang mengakibatkan polusi udara atau mengakibatkan pemanasan global (*global warming*). Tidak dibutuhkan cerobong asap.

Sebuah bangunan "hijau" bertingkat tinggi, di Times Square No. 4, New York City, menggunakan dua fuel cells, yang terletak di lantai empat, untuk pembangkit sebagian besar beban listrik. Karena gas alam digunakan untuk menghasilkan hidrogen, karbon dioksida pun diproduksi. Namun, dengan sistem ini hanya sedikit karbon dioksida yang dihasilkan dibanding dari bangunan konvensional karena tingginya tingkat efisiensi dari fuel cells. Fuel cells akan mempunyai potensi terbesarnya untuk menghasilkan bangunan berkelanjutan jika ditambah bahan bakar hidrogen yang terbuat dari sumber energi yang dapat diperbarui, seperti angin atau tenaga matahari.

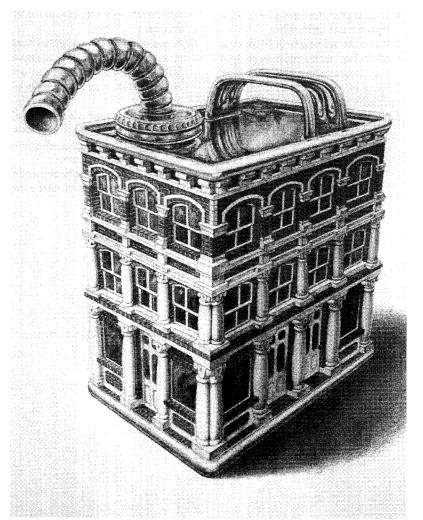
Gambar 3.21a Karena kombinasi sistem panas dan tenaga (*combined-heat-and-power -CHP*) pembangkit tenaga listrik yang terletak di lokasi bangunan, keduanya mampu memanfaatkan sebagian besar panas yang biasanya terbuang.

Gambar 3.21b Paket unit CHP mempunyai (self contained) dan kemudahan berintegrasi dengan bangunan. Tipe bahan bakar lainnya, seperti gas alami, juga dapat digunakan.

3.23 *EMBODIED ENERGI*

Sebagian besar uraian mengenai energi dan bangunan dihubungkan dengan penggunaan dan operasional sebuah bangunan. Sekarang telah diketahui bahwa untuk membangun suatu bangunan diperlukan energi yang banyak. *Embodied energi* merupakan hasil mesin konstruksi maupun energi yang dibutuhkan untuk membuat dan mengangkut materialnya. Sebagai contoh, aluminium memiliki *(embodies)* jumlah energi empat kali dari baja dan dua belas kali dari kayu. *Embodied energi* yang ada pada sebuah bangunan perkantoran sama dengan jumlah energi yang akan digunakan oleh bangunan tersebut selama lima belas tahun.

Sebagian besar *embodied* energi dapat disimpan saat kita mendaur ulang bangunan lama. Dengan demikian, penghematan energi merupakan sebuah argumentasi yang baik untuk penerapan pemakaian ulang dan pemeliharaan bangunan bersejarah (Gbr. 3.23).

Gambar 3.22 Karena sel bahan bakar menggunakan hidrogen untuk langsung membangkitkan listrik dan langsung untuk memanaskan ruang dalam bangunan, maka 90 persen energi awal dapat dimanfaatkan. Fuel cells memanfaatkan hidrogen yang tidak berpolusi.

Gambar 3.23 Sejumlah energi *embodied* dapat dihemat saat bangunan yang sudah ada dimanfaatkan ulang. (Dari sebuah gambar, ©1980 oleh *National Trust for Historic Preservation*)

3.24 RINGKASAN

Prinsip dasar yang diuraikan pada bab ini akan diaplikasikan sepanjang isi buku ini. Banyak di antara ide yang dapat lebih dipahami saat aplikasinya diuraikan pada bab selanjutnya. Akan terasa membantu jika melihat kembali beberapa penjelasan yang terdapat di bab ini, walaupun nantinya akan diberikan juga penjelasan yang lebih terperinci. Konsep khusus, seperti yang berhubungan dengan pencahayaan, akan dijelaskan jika diperlukan.

IDE POKOK BAB 3

1. *Sensible heat* (panas yang dapat dirasakan) merupakan tipe panas yang dapat diukur dengan termometer (alat pengukur suhu). Udara kering hanya memiliki *sensible heat.*
2. Energi panas yang terserap atau terbuang saat sebuah zat berubah fase disebut *latent heat* (panas terpendam) dan tidak dapat diukur dengan termometer.
3. Panas dipindahkan dengan konduksi, konveksi, radiasi, dan transport.
4. Penyusunan lapisan suhu berasal dari konveksi alamiah.
5. Air dapat menampung panas 3.000 kali lebih banyak dibanding udara yang memiliki volume yang sama. Dengan demikian, kita menyatakan bahwa air memiliki kapasitas panas lebih besar daripada udara.
6. Terdapat empat cara zat dan energi berinteraksi:
   a. pemancaran (*transmittance*),
   b. penyerapan (*absorptance*),
   c. pemantulan (*reflectance*),
   d. penyebaran (*emittance*).
7. Efek rumah kaca menahan panas dengan membiarkan sebagian besar radiasi gelombang pendek masuk, dan pada saat yang bersamaan pula menghalangi sebagian besar radiasi gelombang panjang untuk ke luar.
8. Suhu keseimbangan sebuah benda yang diletakkan di bawah sorotan matahari merupakan hasil penyerapan rata-rata dan pengeluaran berbagai karakteristik permukaan yang terbuka.
9. *Mean Radiant Temperature (MRT)* menggambarkan lingkungan radiasi. Sebuah benda akan secara bersamaan menambah radiasi dari benda yang lebih panas dan kehilangan radiasi ke benda yang lebih dingin.
10. Benda yang lebih dingin berpotensi mengalami penurunan panas (*heat sink*). Air yang telah didinginkan atau sebuah bangunan besar/bertingkat banyak yang menjadi dingin waktu malam hari dapat bertindak sebagai sebuah *heat sink* untuk mendinginkan interior bangunan tersebut.
11. Daya tahan termal diukur dari daya tahan material terhadap alur panas dengan cara mekanisme konduksi, konveksi, dan radiasi.
12. *Time lag* (penundaan waktu) merupakan sebuah fenomena yang menggambarkan penundaan alur panas melalui sebuah bahan. Material yang berat (masif) memiliki *time lag* lebih banyak dibandingkan material yang lebih ringan.
13. Pada kondisi dinamika suhu tertentu, *time lag* dalam material masif akan mampu menahan alur panas.
14. Hukum kedua Termodinamika menyatakan bahwa akan terjadi kehilangan energi yang dapat digunakan, setiap kali, saat energi diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Konsekuensinya, memanaskan rumah langsung dengan gas dapat menghemat sebesar 90 persen, sedangkan pemanasan dengan listrik yang dihasilkan dari gas hanya menghemat 30 persen.
15. Sel bahan bakar memiliki potensi membangkitkan tenaga listrik secara efisien dan memasok panas sebagai produk sampingan langsung ke dalam bangunan dengan sedikit atau sama sekali tanpa polusi.

Footnotes

[1]*Conductance*: kemampuan untuk menghantarkan listrik yang dipengaruhi oleh bentuk, panjang, dan bahan penghantar itu.

BAB 4

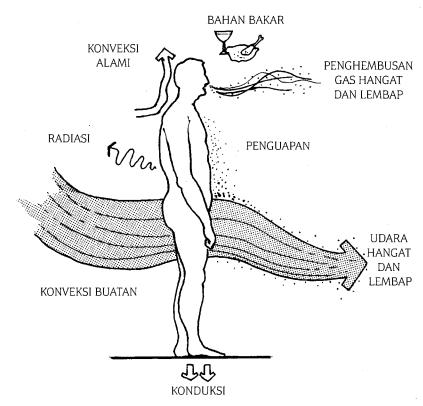
KENYAMANAN TERMAL

"Kenyamanan Termal – sebuah kondisi pemikiran yang mengekspresikan kepuasan atas lingkungan termalnya"

ASHRAE Standard 55-56

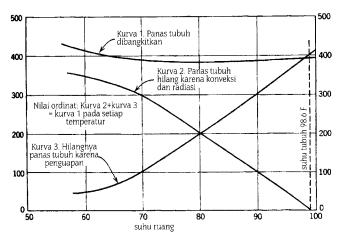
4.1 MESIN BIOLOGIS

Manusia merupakan mesin biologis yang membakar makanan sebagai bahan bakar dan mendapatkan panas sebagai hasil samping dari penghasilan panas tersebut. Proses yang dipengaruhi oleh metabolisme ini mirip dengan apa yang terjadi di dalam kendaraan bermotor, di mana bensin merupakan bahan bakarnya dan panas juga merupakan hasil sampingnya yang cukup signifikan (Gbr. 4.1a). Kedua tipe mesin harus mampu menghilangkan panas yang lebih untuk menghindari kondisi panas berlebihan (Gbr.4.1b). Setiap mekanisme aliran udara yang telah diutarakan pada Bab 3 memiliki tugas mempertahankan suhu optimum.

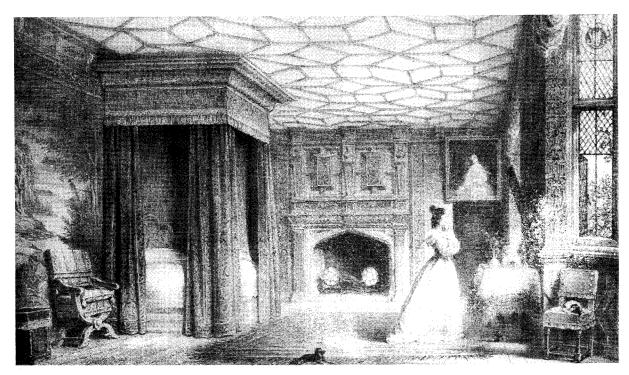
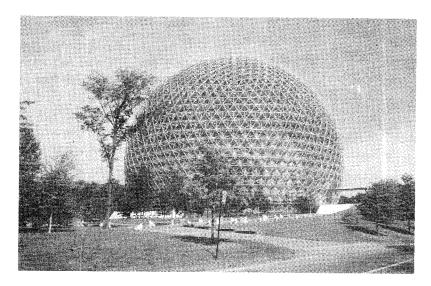
Gambar 4.1a Berbagai metode pengeluaran panas yang tidak terpakai dari sebuah mobil.

Gambar 4.1b Berbagai metode pengeluaran panas yang tidak terpakai dari badan makhluk hidup.

Semua binatang yang berdarah hangat, khususnya manusia, memerlukan suhu yang sangat konstan. Badan kita mencoba untuk mempertahankan suhu sekitar 98.6°F dan sedikit penyimpangan akan menimbulkan stress/beban yang cukup tinggi. Hanya beda 10-15 derajat lebih tinggi atau 20 derajat lebih rendah dari 98.6°F, sudah dapat mengakibatkan kematian. Badan kita memiliki sejumlah mekanisme untuk mengatur aliran udara hingga bisa terjamin bahwa panas yang hilang akan sama dengan panas yang dihasilkan, dan juga bahwa kesetimbangan termal akan berada sekitar 98.6°F.

Sebagian panas yang hilang terjadi saat dihirupnya udara lembap dan hangat ke dalam paru-paru, namun sebagian besar panas badan kita akan hilang melalui kulit. Kulit mempertahankan aliran panas dengan mengendalikan jumlah darah yang mengalirinya. Pada musim panas, kulit dialiri darah dengan cepat untuk meningkatkan panas yang hilang, sedangkan pada musim dingin, kulit menjadi sebuah insulator. Dengan demikian, suhu kulit akan menjadi lebih rendah pada musim dingin dibanding pada musim panas. Kulit juga memiliki kelenjar keringat yang mengendalikan panas yang hilang melalui proses penguapan.

Rambut juga merupakan alat penting lainnya yang mengendalikan kecepatan hilangnya panas. Meskipun kita tidak memiliki banyak bulu, kita tetap memiliki otot yang mampu membuat bulu kita berdiri tegak hingga mendapatkan ekstra insulasi terhadap suhu. Saat bulu roma kita tegak

Gambar 4.1c Cara panas menghilang dari badan tergantung dengan suhu lingkungannya. Grafik ini mengasumsikan orang yang bersangkutan sedang beristirahat dan lembap relatif adalah 45 persen. (Dikutip dari buku *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, edisi ke-9 *Stein and Reynolds*. © 2000 *John Wiley & Sons, Inc.*)

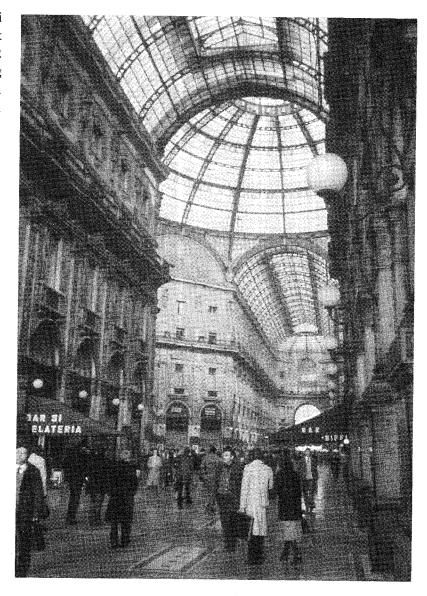
karena dingin, kita dapat melihat sisa mekanisme yang terdahulu. Setelah beberapa hari mengalami eksposur, badan kita akan mampu menyesuaikan diri terhadap suhu yang sangat tinggi maupun yang rendah. Mengubah jumlah darah merupakan mekanisme yang sangat penting, dengan lebih banyak lagi darah dihasilkan dalam kondisi yang lebih hangat. Hilangnya panas secara besar-besaran disebut ***hypothermia***, sedangkan cukup kehilangan panas dinamakan ***hyperthermia***.

Grafik pada Gambar. 4.1c menunjukkan bagaimana keefektifan mekanisme hilangnya panas tubuh kita yang berbeda dengan kehilangan panas yang bersumber dari matahari. Kurva 1 mewakili panas yang dihasilkan oleh badan seseorang yang sedang beristirahat saat suhu lingkungan berubah. Kurva 2 mewakili panas yang hilang melalui konduksi, konveksi, serta radiasi. Karena panas yang hilang dengan mekanisme ini, bergantung pada perbedaan suhu, tidaklah mengejutkan bahwa panas yang hilang akan berkurang saat suhu lingkungan meningkat. Saat suhu lingkungan mencapai suhu badan (98,6°F), panas tidak akan hilang melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Untungnya, mekanisme hilangnya panas tidak akan secara utuh bergantung pada suhu lingkung-

Gambar 4.2a Konsep pemakaian banyak partisi pada sebuah ruangan sangat cocok untuk kenyamanan termal.

Gambar 4.2b Kubah geodesik di Paviliun Amerika Serikat, Expo tahun 1967, Montreal, melindungi struktur interior bangunan dari matahari, angin, dan hujan.

Gambar 4.2c *Galleria Vittorio Emanuel* di Milan, Itali, yang selesai dibangun pada tahun 1877 melindungi beberapa jalanan serta gedung yang terletak di bawahnya.

an. Panas yang hilang melalui penguapan akan bekerja lebih baik pada suhu ting-gi. Kurva 2 (Gbr.4.1c) mewakili panas yang hilang oleh penguapan saat suhu lingkungan berubah dengan kelembapan relatif tetap pada 45 persen.

4.2 PENGHALANG TERMAL

Jika kita dapat hidup di dalam Taman Surga, mekanisme badan kita akan secara mudah mengendalikan aliran panasnya. Sementara itu, di dalam dunia nyata ini, badan kita sering kali diposisikan untuk selalu berada pada situasi di mana harus menghadapi beban termal secara konstan. Setiap penghalang, meskipun setipis kulit akan sangat menyulitkan dalam mempertahankan suhu konstan dalam lingkungan yang sering kali berubah. Konsekuensinya, penghalang tambahan diperlukan untuk mencapai kenyamanan termal. Pakaian, meskipun bertindak sebagai kulit tambahan, tidak akan selalu cukup untuk kenyamanan termal. Bangunan dapat memberikan

Gambar 4.2d : *Crystal Palace* untuk acara *The Great Exhibition* pada tahun 1851 menciptakan iklim mikro yang ramah lingkungan di sebuah taman di London.

lingkungan yang lebih sejuk untuk manusia yang berpakaian. Di dalam bangunan yang berangin (terdapat di halaman sebelumnya) tetap dibutuhkan lebih banyak lagi penghalang. Kanopi merupakan salah satu solusinya (Gbr. 4.2a). Dalam bangunan modern saat kini, kita hampir menciptakan replika sebuah Taman Surga.

Konsep terhadap penghalang progresif ini dijanjikan akan berlangsung terus. Sebagai contoh telah diberikan masukan serius seperti, ibu kota Alaska yang baru dikelilingi sebuah struktur membran yang mengandung udara (*pneumatic*), dengan demikian beban termal pada ruang dalam bangunan akan berkurang secara besar-besaran. Struktur *pneumatic* cukup ideal untuk tujuan ini karena mereka mampu menutup area yang besar dengan harga wajar. Paviliun Amerika Serikat untuk acara Expo tahun 1967 di Montreal, Canada, menggunakan sebuah sistem struktural yang berbeda untuk tujuan yang sama. Gambar. 4.2b memperlihatkan kubah geodesic yang menghasilkan sebuah iklim mikro pada bangunan struktur yang sedikit rentan terhadap suhu. Ventilasi dan peneduh telah digunakan untuk mengontrol iklim mikro (lihat Gbr. 9.15a).

Yang lebih biasa lagi, namun sudah cukup dikenal, adalah jalanan dengan penutup atap pada bangunan pusat perbelanjaan modern kita yang berawal dari proyek seperti *Galleria Vittorio Emanuele* di Milan, Itali, yang selesai pada tahun 1877 (Gbr. 4.2c). Bangunan *Crystal Palace*, yang telah dibangun untuk acara *"The Great Exhibition of 1851"* di kota London, Inggris (Gbr. 4.2d), merupakan nenek moyang bangunan Galleria maupun paviliun Expo yang telah kita bahas di atas. Dengan luas 770,000 ft2 bangunan tersebut menciptakan sebuah iklim mikro baru di bagian Taman Hyde *(Hyde Park)* yang besar.

4.3 LAJU YANG DIPENGARUHI OLEH METABOLISME

Untuk mempertahankan keseimbangan termal, badan kita harus kehilangan panas yang sama dengan laju yang dipengaruhi oleh panas metabolisme. Produksi panas ini sebagian merupakan fungsi suhu luar, namun sebagian besar merupakan fungsi kegiatan. Seseorang yang sedang sangat aktif akan menghasilkan panas dengan laju enam kali lebih besar daripada seseorang yang sedang berbaring/bersandar. Tabel 4.3 menunjukkan produksi panas yang berhubungan dengan beragam kegiatan. Untuk sebuah pemahaman intuisi yang lebih baik, produksi suhu yang sama dalam satuan lampu 100-watt juga ditunjukkan.

TABEL 4.3 *Produksi Panas Badan sebagai Sebuah Fungsi Anatomi*

Aktivitas	Produksi Panas (btu/hour)	Watt
Tidur	300	100
Lampu Kerja	600	200
Berjalan	900	300
Jogging	2400	800

4.4 KONDISI TERMAL LINGKUNGAN

Untuk menciptakan kenyamanan termal, kita harus memahami tidak hanya mekanisme hilangnya panas dari badan manusia, tetapi juga terhadap empat kondisi lingkungan yang dapat menjadikan panas hilang.

Empat kondisi yang dimaksud adalah:

1. suhu udara (°F),
2. kelembapan,
3. kecepatan udara *(feet/minute)*,
4. *mean radiant Temperature (MRT)*.

Semua kondisi di atas memengaruhi panas badan manusia secara bersamaan. Pertama-tama marilah kita teliti bagaimana setiap kondisi dapat memengaruhi kecepatan panas yang hilang di dalam manusia dan dirinya sendiri.

1. Suhu Udara
   Suhu udara akan menentukan kecepatan panas yang akan hilang yang sebagian besar dengan cara konveksi (pengembunan). Di atas 98.6°F, aliran udara akan berbalik dan badan akan mendapatkan panas dari udara. Jangkauan kenyamanan untuk sebagian besar orang (80 persen) bisa mencapai hingga 68°F di musim dingin dan 78°F pada musim panas. Jangkauan dapat menjadi sebesar ini kebanyakan disebabkan oleh baju panas yang dipakai pada musim dingin.
2. Kelembapan Relatif
   Sebagian besar penguapan uap air pada kulit merupakan fungsi kelembapan udara. Udara kering dapat secara cepat menyerap uap air dari kulit, dan hasilnya adalah penguapan yang cepat dan efektif untuk menyejukkan badan. Sebaliknya, saat kelembapan relatif (*Relative Humidity/RH*) mencapai 100 persen, udara akan menampung semua uap air yang mampu ditampungnya dan pendinginan dari penguapan berhenti. Untuk kenyamanan, RH sebaiknya berada di atas 20 persen sepanjang tahun, di bawah 60 persen pada musim panas, dan di bawah 80 persen pada musim dingin. Batasan ini tidaklah begitu tepat, namun pada tingkat kelembapan yang sangat rendah akan timbul sejumlah keluhan terhadap beberapa bagian tubuh yang terasa kering seperti hidung, mulut, mata dan kulit, serta penyakit pernapasan. Statisnya listrik dan penyusutan pada kayu juga merupakan masalah yang dapat terjadi karena kelembapan yang rendah.

   Kelembapan tinggi tidak hanya mengurangi kecepatan pendinginan melalui penguapan, tetapi juga mendukung pembentukan uap air (keringat) pada kulit yang membuat badan terasa tidak nyaman. Lebih lagi, tumbuhnya jamur juga merupakan masalah yang timbul ketika kelembapan tinggi.

3. Kecepatan Udara
   Gerakan udara memengaruhi kecepatan panas yang hilang baik dengan cara konveksi maupun penguapan. Oleh karena itu, kecepatan udara memiliki dampak yang nyata pada proses hilangnya panas. Pada musim panas, kecepatan udara merupakan aset yang baik tetapi pada musim dingin merupakan rintangan. Jangkauan yang nyaman berkisar antara 20 hingga sekitar 60 kaki/minute (fpm)/ ± 0,6 mph - ± 2mph. Dari sekitar 60 fpm ± 200 fpm (± 0,6 mph- ± 2mph), gerakan udara akan terlihat, namun masih dapat diterima tergantung pada kegiatan yang sedang dilakukan. Di atas 200 fpm (2mph), gerakan udara dapat menjadi sedikit kurang nyaman dan mengganggu (contoh: kertas yang tertiup ke mana-mana). **Aliran udara draft** adalah pendinginan lokal oleh pergerakan udara pada badan manusia yang tidak diinginkan dan merupakan masalah termal yang cukup serius. Lihat Tabel 10.8 untuk sebuah deskripsi yang lebih mendetail terhadap bagaimana kecepatan udara memengaruhi kenyamanan.

   Pada iklim dingin, **faktor dinginnya angin (*windchil*)** sering kali diberikan di dalam sebuah laporan cuaca karena mereka lebih baik mendeskripsikan seberapa parah dingin yang ada dibanding dengan hanya memberikan informasi suhu. Faktor- faktor dinginnya angin (*windchil*) sama dengan suhu udara tetap yang mungkin memiliki dampak pendinginan yang sama pada tubuh manusia seperti dampak kombinasi suhu yang ada dan kecepatan angin.

   Meskipun gerakan udara dari hembusan angin sering kali diinginkan pada musim panas, tidaklah demikian untuk iklim yang sangat panas dan kering. Jika suhu udara berada di atas 98,6°F, ia akan memanaskan badan dengan konveksi dan mendinginkannya dengan penguapan. Semakin tinggi suhu, semakin sedikit efek total penyejukan.
4. *Mean Radiant Temperature* (MRT)
   Saat MRT memiliki perbedaan yang sangat besar dari suhu udara, efeknya harus dipertimbangkan. Sebagai contoh, saat Anda duduk di depan jendela yang menghadap ke selatan pada musim dingin, kemungkinan besar Anda akan merasa terlalu hangat, meskipun suhu udara luar berada pada suhu yang nyaman, yaitu 75°F. Hal ini disebabkan sinar matahari telah meningkatkan MRT pada sebuah tingkat yang terlalu tinggi untuk kenyamanan. Setelah matahari terbenam, Anda mungkin merasa dingin meskipun suhu udara di dalam ruangan masih berada pada 75°F. Sekarang jendela yang dingin menurunkan MRT terlalu jauh dan Anda mengalami kehilangan sebuah jaringan penyinaran sinar matahari. Sangatlah penting untuk menyadari bahwa suhu rata-rata kulit dan pakaian berada pada 85°F dan bahwa suhu ini menentukan pertukaran penyinaran matahari dengan lingkungan. Intinya, tujuannya adalah mempertahankan MRT dekat dengan suhu udara lingkungan.

Grafik psikometrik yang akan diperjelas pada subbab berikut ini merupakan alat yang memiliki kekuatan amat besar dalam usaha memahami bagaimana kombinasi suhu dan kelembapan memengaruhi kenyamanan.

4.5 GRAFIK PSIKOMETRIK

Sebuah cara yang cocok untuk memahami sebagian dari hubungan timbal-balik kondisi termal lingkungan adalah dengan menggunakan grafik psikometrik (Gbr.4.5a). Sumbu (*axis*) horizontal menggambarkan suhu udara, sumbu vertikal menggambarkan jumlah uap air yang ada di udara yang disebut **perbandingan kelembapan** atau **kelembapan absolut**, dan garis kurva menggambarkan **kelembapan rata-rata (*relative humidity/RH*)**. Diagram ini memiliki dua batasan yang merupakan batasan absolut. Ujung bawah menggambarkan udara yang seluruhnya kering (RH 0 persen) dan batasan atas yang melengkung menggambarkan udara yang seluruhnya dipenuhi dengan uap air (RH 100 persen). Batas atas melengkung karena saat udara menjadi lebih hangat, ia akan dapat menahan lebih banyak uap air. Meskipun kita mengetahui berapa banyak uap air yang berada di udara, kita tidak dapat memprediksi seberapa banyak lagi yang dapat ditampung, kecuali jika kita juga mengetahui suhu udaranya.

Gambar 4.5a Setiap titik pada grafik psikometrik mewakili sifat udara pada suhu dan tingkat kelembapan tertentu. Sebagai contoh, pada titik 'A', contoh udara memiliki suhu 80ºF dengan kelembapan rata-rata 40 persen serta isi uap air yang aktual sekitar 0.009 pon air per 1 pon udara kering.

Gambar 4.5b Perubahan suhu atau uap air pada contoh udara diwakili oleh gerakan pada grafik psikometrik.

Setiap titik terdapat pada grafik psikometrik mewakili udara pada suhu dan tingkat uap air tertentu (Gbr. 4.5a). Gerakan vertikal ke atas menunjukkan bahwa uap air telah ditambahkan pada contoh udara (lihat Gbr.4.5b), sedangkan gerakan ke bawah pada grafik mewakili penghilangan lembap. Gerakan ke kanan menunjukkan bahwa contoh udara sedang dipanaskan, dan dengan cara yang sama, gerakan ke kiri menunjukkan pendinginan udara. Dengan demikian, jika sebuah contoh udara memiliki suhu 80°F dan RH 40 persen (titik A) didinginkan hingga 60°F, pada grafik psikometrik ia akan bergerak secara horizontal ke kiri menuju titik B (Gbr.4.5c). Meskipun demikian, kelembapan rata-ratanya telah meningkat hingga sekitar 78 persen meskipun tidak terdapat perubahan pada kadar uap air di udara yang sesungguhnya (contoh: tidak ada pergerakan vertikal). RH telah meningkat karena udara sejuk mampu menampung lebih sedikit uap air dibanding dengan udara yang hangat, dan tingkat uap air yang sama ini sekarang merupakan persentase yang lebih besar dari apa yang dapat ditampung pada suhu yang lebih sejuk tersebut. Di sisi lain, jika udara pada titik A dipanaskan hingga 100°F (titik C pada Gbr. 4.5d), kelembapan relatif akan menjadi sekitar 22 persen. Kelembapan relatif ini berubah karena udara hangat mampu menampung lebih banyak uap air dibanding dengan udara yang sejuk, dan tingkat uap air yang sama ini sekarang merupakan persentase yang lebih kecil

dari apa yang dapat ditampung udara pada suhu yang lebih tinggi tersebut.

4.6 SUHU TITIK EMBUN (*DEW-POINT*) DAN SUHU *WET-BULB*

Apa yang akan terjadi pada udara yang bersuhu 80°F dengan RH 40 persen jika udara tersebut telah didinginkan hingga 53°F? Perhatikan titik A pada Gambar. 4.6a. Saat udara didinginkan RH terus meningkat hingga 100 persen dengan suhu sekitar 53°F (titik D). Ini merupakan kondisi khusus yang dinamakan suhu titik embun (*dew-point*). Pada titik ini seluruh udara telah dibasahi (RH 100 persen) dan tidak bisa lagi menampung uap air. Pendinginan apa pun setelah titik ini akan menghasilkan pengembunan/pengentalan di mana sebagian air akan keluar dari larutan yang ada di udara. Fenomena ini juga dapat dilihat pada proses hujan, salju, kabut, embun beku, serta pembentukan "keringat" dari segelas air dingin.

Jika contoh udara di atas didinginkan lebih dari 53°F hingga 40°F, ia akan mencapai titik E pada grafik psikometrik (Gbr. 4.6a). Meskipun RH-nya masih 100 persen, kelembapan absolutnya (perbandingan kelembapan) telah menurun. Perhatikan gerakan ke bawah pada grafik psikometrik dari sebuah perbandingan kelembapan sekitar 0,009 pon hingga 0,0055 pon air per pon udara kering. Oleh karena itu, sekitar 0,0035 pon air per pon udara kering dipindahkan kembali ke udara saat didinginkan dari 87°F hingga 40°F. Kita dapat

Gambar 4.5c Jika sebuah contoh udara didinginkan, kelembapan rata-ratanya akan meningkat walaupun tidak terdapat perubahan pada kadar uap air yang sesungguhnya.

Gambar 4.5d Jika sebuah contoh udara dipanaskan, kelembapan rata-ratanya akan menurun walaupun tidak terdapat perubahan pada kadar uap air yang sesungguhnya.

Gambar 4.6a Saat sebuah contoh udara didinginkan secara cukup, kelembapan rata-ratanya akan meningkat hingga mencapai 100 persen, yang juga dinamakan titik larut atau titik embun. Setiap pendinginan setelah titik ini akan menghasilkan kondensasi uap air udara.

Gambar 4.6b Suhu ujung kepala termometer yang basah (*wet-bulb*) dapat diukur dengan psikometer goyang. Alat ini merupakan sebuah indikator kelembapan rata-rata kadar uap air udara yang sesungguhnya.

menyatakan bahwa udaranya telah **dihilangkan kelembapannya.**

Suhu titik embun (*dew-point temperature*/DPT) juga merupakan sebuah indikasi seberapa banyak uap air di dalam udara pada titik mana pun. Semakin tinggi DPT-nya, maka akan semakin banyak uap airnya. Dengan demikian, DPT dapat digunakan untuk menggambarkan jumlah yang sesungguhnya –bukan jumlah rata-rata—uap air dalam udara. Laporan cuaca sering kali memberikan DPT untuk menggambarkan kadar uap air di udara yang sesungguhnya.

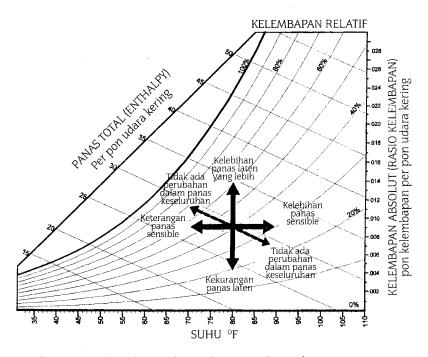
Cara lain untuk menggambarkan jumlah uap air di dalam sebuah contoh udara adalah dengan memberikan **suhu *wet-bulb* (suhu pada ujung kepala termometer yang basah)**. Suhu *wet-bulb* ditentukan dengan menggoyangkan dua termometer secara berdampingan melalui udara. Salah satu ujung kepala termometernya dibungkus dengan kain basah. Jika **psikometer goyang** ini digoyangkan pada udara yang kering, suhu termometer yang memiliki kepala ujung yang basah (*wet-bulb*) akan menurun secara signifikan di bawah suhu termometer yang kering. Hal ini terjadi karena penguapan besar pada air. Sama juga jika udaranya lembap, suhu *wet-bulb* akan menurun sedikit saja. Dan tentunya, jika udaranya memiliki RH 100 persen, penguapan tidak akan terjadi, dan suhu ujung kepala termometer yang basah (*wet-bulb*) dengan suhu ujung kepala termometer yang kering (*dry-bulb*) akan menjadi sama. Gambar.4.6b

menunjukkan bagaimana pada saat RH 100 persen, suhu *wet-bulb* (garis-garis yang miring) dan suhu *dry-bulb* (garis-garis vertikal) adalah sama.

4.7 HEAT CONTENT OF AIR

Grafik psikometrik dapat juga digunakan untuk menggambarkan kadar panas sensible, laten, serta total panas sebuah contoh udara. Skala total panas (***enthalpy***) merupakan sebuah bagian standar grafik psikometrik dan ditunjukkan dalam Gambar. 4.7a. Perhatikan bahwa gerakan ke atas pada grafik tidak hanya meningkatkan kadar uap air, tetapi juga meningkatkan kadar panas laten. Ini bukanlah hal yang mengejutkan bila mengingat bahwa uap air adalah panas laten. Perhatikan juga bahwa sebuah gerakan ke kanan meningkatkan tidak hanya suhu, namun juga kadar panas sensible sebuah contoh udara. Hal ini juga merupakan hal yang mengejutkan karena suhu merupakan indikator kadar panas *sensible*.

Gambar. 4.7b memperlihatkan udara yang sedang dipanaskan dan diberi kelembapan. Dengan demikian, saat udara mencapai titik F, ia akan memiliki panas yang sensible dan panas yang laten dibanding di titik A. Total kenaikan dalam BTU per pon udara kering dapat dibaca langsung dari skala *enthalpy*.

Dalam Gambar 4.7c, kita melihat sebuah contoh udara yang didinginkan oleh penguapan air. Jika udara diberi kelembapan hingga RH 80 persen, kadar uap air akan meningkat dan suhu akan menurun. Karena hilangnya panas sensibel sama dengan penambahan panas laten, kadar total

Gambar 4.7a Grafik psikometrik juga dapat memberi informasi isi panas sebuah contoh udara tertentu. Panas akan bertambah dapat peningkatan suhu *(sensible heat)* atau dengan peningkatan pada uap air *(latent heat)*.

Gambar 4.7b Memanaskan serta melembapkan sebuah contoh udara akan meningkatkan *sensible heat* dan *latent heat* udara tersebut. Total panas yang diperoleh dapat terlihat langsung pada skala *enthalpy*.

Gambar 4.7c Pada pendinginan dengan penguapan, peningkatan pada *latent heat* sama dengan pengurangan pada *sensible heat*. Perubahan adiabatik adalah sebuah perubahan di mana total konten panas udara tetap konstan.

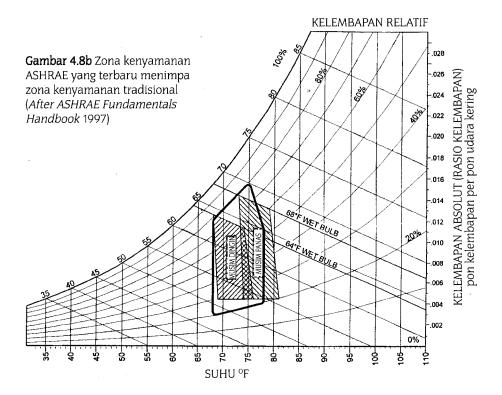
Gambar 4.8a Zona kenyamanan serta berbagai macam tipe ketidaknyamanan di luar zona tersebut dapat dilihat pada grafik psikometrik ini.

panas sama untuk titik G seperti dengan titik A. Perhatikan bahwa tidak ada perubahan pada skala total panas. Sebuah perubahan pada grafik psikometrik yang tidak menghasilkan sebuah perubahan pada total kadar panas disebut **perubahan adiabatik**. Ini merupakan hal yang penting dan merupakan fenomena yang biasa ditemukan karena inilah yang terjadi dalam pendinginan dengan penguapan, di mana penguapan air akan mengubah panas *sensible* menjadi panas laten dan kadar total panas akan tetap sama. Dengan demikian, meskipun udara menjadi lebih dingin, ia juga menjadi lebih lembap.

4.8 KENYAMANAN TERMAL

Kenyamanan termal suhu badan hanya berada pada jangkauan yang sempit, kelembapan kulit rendah, dan usaha badan regulasi sangat kecil (dari ASHRAE 1997). Kombinasi dari suhu udara, kelembapan relatif (*relative humidity/RH*), gerakan udara, dan *mean radiant temperature/MRT* (titik tengah suhu)menghasilkan kenyamanan termal. Saat kombinasi suhu udara dan RH digambarkan pada grafik psikometrik, mereka menegaskan sebuah area yang dikenal sebagai **zona kenyamanan** (Gb. 4.8a). Karena grafik psikometrik berhubungan hanya dengan suhu dan kelembapan, kedua faktor lainnya (gerakan udara dan titik tengah suhu/MRT) berada pada posisi yang tetap. MRT dianggap dekat dengan suhu udara, dan gerakan udara dianggap yang biasa.

Sangat penting untuk diperhatikan bahwa batasan zona kenyamanan yang telah diberikan tidak mutlak karena kenyamanan termal juga bervariasi sesuai dengan budaya, waktu tahunan, kesehatan, jumlah lemak yang dimiliki oleh seseorang, jumlah dan kualitas pakaian yang sedang dipakai, dan yang paling penting, kegiatan fisik yang sedang dilakukan. ASHRAE (*American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning*) telah mendefi-

Gambar 4.8b Zona kenyamanan ASHRAE yang terbaru menimpa zona kenyamanan tradisional (*After ASHRAE Fundamentals Handbook* 1997)

nisikan kenyamanan termal sebagai "sebuah kondisi pemikiran yang mengekspresikan kepuasan suhu lingkungannya." Saat kondisi kenyamanan termal berbeda untuk setiap orang, zona kenyamanan merupakan tujuan perancangan termal sebuah bangunan karena ia mendefinisikan kondisi yang dianggap nyaman oleh sebagian besar manusia pada masyarakat kita. Gambar. 4.8b menunjukkan zona kenyamanan ASHRAE terbaru yang telah ditindih di atas zona kenyamanan tradisional dari Gambar. 4.8a. Karena perbedaannya tidak banyak, buku ini akan terus menggunakan zona tradisional dengan peringatan bahwa sisi kiri zona lebih cocok untuk musim dingin dan sisi kanan untuk musim panas.

Memang kapan pun jika memungkinkan, pengendalian tambahan sebaiknya tersedia untuk penghuni bangunan agar mereka dapat menciptakan kondisi termal yang cocok untuk mereka. Kipas angin serta pemanas yang dapat dibawa-bawa (*protable*), termostat (alat pengukur suhu otomatis) yang besar, dan jendela yang dapat dioperasikan merupakan alat yang dapat digunakan orang untuk membuat lingkungannya menjadi lebih baik. Sistem perangkat mekanikal sekarang telah tersedia sehingga dapat digunakan oleh setiap individu untuk mengendalikan kondisi suhu setiap ruang kerja. Grafik pada Gambar 4.8a juga menunjukkan tipe ketidaknyamanan yang dialami seseorang di luar zona kenyamanan. Zona ketidaknyamanan ini cocok untuk sejumlah iklim yang berbeda. Sebagai contoh, bagian Barat Daya memiliki iklim musim panas yang panas kering, yang dapat ditemukan pada sisi bawah-kanan pada grafik psikometrik (Gbr. 4.8a). Sayangnya, hanya sedikit iklim memiliki porsi cukup besar sepanjang tahunnya yang berada di dalam zona kenyamanan.

Pembahasan berikut ini menunjukkan bagaimana zona kenyamanan bergeser saat sesuatu yang tadinya konstan dibiarkan untuk berubah.

4.9 PERGESERAN PADA ZONA KENYAMANAN

Zona kenyamanan akan bergeser pada grafik psikometrik jika kita mengubah sejumlah dugaan di atas. Pada Gambar. 4.9a pergeseran pada zona kenyamanan terjadi karena adanya sebuah peningkatan pada MRT/titik tengah suhu. Suhu udara yang lebih sejuk diperlukan untuk memberi ganti panas radiasi yang

Gambar 4.9a Jika di sana terdapat Mean Radiant Temperature (MRT) yang tinggi, zona kenyamanan bergeser menuju ke posisi bawah-kiri.

Gambar 4.9b Jika di sana terdapat kecepatan udara yang tinggi, zona kenyamanan bergeser menuju ke posisi atas-kanan.

KELEMBAPAN RELATIF

LOKASI ASLI

SUHU °F

KELEMBAPAN ABSOLUT (RASIO KELEMBAPAN)

Gambar 4.9c Jika terdapat kenaikan dalam aktivitas fisik, zona kenyamanan bergeser menuju posisi bawah-kiri.

telah meningkat. Sama saja untuk sebuah MRT yang rendah harus diimbangi oleh sebuah peningkatan suhu udara. Sebagai contoh, sebuah ruangan dengan luasan kaca yang sangat besar harus dibuat lebih hangat pada musim dingin dan dibuat lebih sejuk pada musim panas diban-ding dengan ruangan yang memiliki jendela berukuran kecil atau sedang. Luasan jendela yang lebih besar menciptakan MRT yang tinggi pada musim panas dan MRT yang rendah pada musim dingin. Untuk setiap kenaikan atau penurunan 3 derajat pada MRT, suhu udara harus diatur 2 derajat ke arah yang berlawanan. Peneduhan pada jendela (Bab 9) serta insu-lasi pada jendela (Bab 15) dapat menghasilkan efek yang cukup besar pada MRT.

Pada Gambar.4.9b pergeseran zona kenyamanan merupakan aki-bat peningkatan kecepatan udara. Dampak pendinginan gerakan udara diimbangi oleh peningkatan suhu udara. Sering kali kita meng-gunakan hubungan dengan situasi yang berkebalikan. Saat suhu udara terlalu tinggi untuk sebuah keadaan yang harusnya nyaman, sering kali kita memanfaatkan gerakan udara (misalnya, mem-buka jendela atau menyalakan kipas angin) untuk meningkat-kan zona kenyamanan agar suhu udara yang lebih tinggi dapat masuk dalam zona tersebut. Bab 10 akan lebih menjelaskan bagai-mana gerakan udara dapat diguna-kan untuk pendinginan pasif.

Terakhir, terdapat pergeseran pada zona kenyamanan akibat adanya kegiatan fisik. Suhu yang lebih dingin/sejuk dibutuhkan untuk membantu badan menghi-langkan hasil panas yang mening-kat. Ruang olahraga, contohnya, sebaiknya dibuat lebih dingin di-banding dengan ruangan kelasnya. Dengan demikian, zona kenya-manan akan bergeser ke bawah menuju sisi kiri saat kegiatan fisik meningkat (Gbr.4.9c).

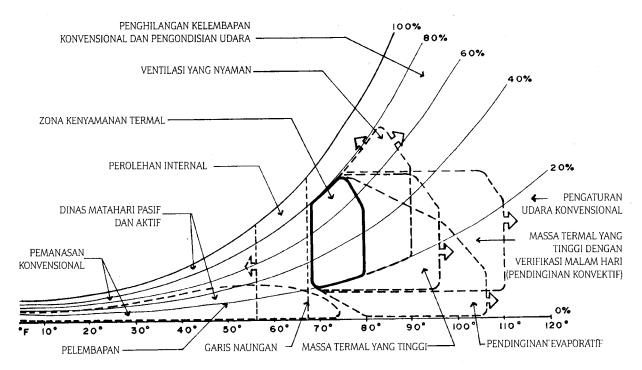
4.10 PAKAIAN DAN KENYAMANAN

Sayangnya, seorang arsitek tidak bisa menentukan pakaian yang dipakai oleh penghuni bangunan yang ia rancang. Sering kali, fashion, status, serta tradisi ber-pakaian dapat melawan kenya-manan termal. Pada iklim yang sangat panas wanita diharuskan untuk memakai kerudung dan jubah hitam yang menutupi seluruh tubuhnya. Sayangnya,

sebagian dari kebudayaan kita sendiri (Amerika Serikat) juga sering kali tidak cocok. Sebuah jaket/jas berlapis tiga dengan dasi juga bisa membuat si pemakai sangat panas pada musim panas. Sama halnya untuk sebuah rok mini yang tidak akan cocok jika dipakai pada musim dingin. Gaya pakaian sebaiknya sesuai dengan musim, baik saat di ruang dalam maupun saat di ruang luar karena suhu ruang dalam berbeda dengan suhu ruang luar. Kita akan mampu menghemat jutaan barel minyak jika para pria hanya memakai jaket/jas yang berlapis tiga pada musim dingin saja, dan para wanita memakai rok mini hanya pada musim panas.

Cerita berikut ini merupakan kasus yang menghasilkan angka. Karena krisis energi yang mulai pada tahun 1973, Presiden Carter dari Amerika Serikat mengamanatkan suhu hemat-energi pada bangunan pemerintah. Salah satu bangunan tersebut adalah US Capitol yang cukup hangat pada musim panas dengan aturan thermostat (alat pengukur suhu otomatis) yang lebih tinggi. Meskipun semua anggota Kongres (Dewan Perwakilan Rakyat Amerika) sangat kepanasan, mereka tetap sepakat untuk mempertahankan aturan baju tradisional yang sesungguhnya lebih cocok untuk suhu yang lebih dingin.

Daya insulasi pakaian dihitung dalam satuan daya tahan termal yang disebut ***clo***. Pada musim dingin sebuah nilai *clo* yang lebih tinggi diciptakan dengan menggunakan lapisan yang banyak atau dengan sebuah tenunan yang penuh pori-pori sehingga mudah menyerap. Jika terdapat angin, lapisan luar yang cukup kedap, namun dapat ditembus uap air tetap dibutuhkan.

Pada musim panas sebuah *clo* yang sangat rendah tentunya, dibutuhkan. Bahkan yang lebih penting karena pada musim dingin uap air dapat melewati pakaian, dibanding pada musim panas, bahan yang dapat ditembus oleh air/gas sebaiknya digunakan. Bahan katun sangat bagus dipakai karena katun berperilaku seperti sebuah sumbu yang memindahkan uap air dari kulit badan ke udara. Meskipun kemampuan serap bahan wool tidak sebaik bahan katun, ia tetap merupakan bahan yang lebih baik dibanding dengan bahan buatan lainnya. Selain itu, pakaian yang longgar akan mendukung penghilangan panas sensible serta panas laten (uap air).

Gambar 4.11 Rangkuman strategi perancangan sebagai sebuah fungsi kondisi-kondisi lingkungan (iklim). (Dikutip dari buku *Psychometric-Bioclimatic Chart*, copyright oleh Baruch Givoni dan Murray Milne)

4.11 STRATEGI

Sebagian besar sisa buku ini membahas berbagai macam strategi yang telah dikembangkan untuk menciptakan kenyamanan termal di dalam bangunan kita. Versi grafik psikometrik yang terlihat pada Gambar.4.11 merangkum sebagian besar strategi tersebut. Jika Anda bandingkan grafik ini dengan grafik Gambar.4.8a, Anda akan melihat hubungan strategi dengan kondisi ketidaknyamanan (iklim) lebih jelas lagi. Sebagai contoh, strategi pendinginan dengan penguapan (bagian bawah-kanan pada Gambar.4.11) cocok dengan zona ketidaknyamanan yang panas kering. (bagian bawah-kanan pada Gbr.4.8a). Diagram ini menunjukkan bahwa perolehan panas internal dari sumber-sumber seperti mesin, manusia, serta cahaya sudah cukup untuk memanaskan bangunan dalam kondisi yang sedikit sejuk. Selain itu juga, saat kondisi iklim berada pada sisi kanan garis teduh, sinar matahari sebaiknya dicegah agar tidak memasuki jendela. Garis ini maupun semua batasan zona yang telah ditunjukkan pada diagram tidaklah ditetapkan secara tepat, namun sebaiknya dianggap sebagai batasan yang sedikit buram.

IDE POKOK BAB 4

1. Untuk kenyamanan termal, badan harus mengeliminasi panas yang berlebihan baik dengan cara konduksi, konveksi, radiasi, ataupun penguapan.
2. Sejumlah sisa panas yang berlebihan diproduksi sebagian besar dari fungsi aktivitas fisik yang dilakukan.
3. Empat faktor lingkungan bersama yang menentukan bagaimana badan manusia dapat mengeluarkan panas yang berlebihan.
   Kisaran kenyamanan mereka adalah:
   a) temperatur udara (68° hingga 78°F)
   b) kelembapan relatif (20 persen hingga 80 persen)
   c) kecepatan udara (20 fpm hingga 60 fpm)
   d) *mean radiant temperatur* (MRT; mendekati temperatur udara)
4. Kombinasi dari beberapa nilai tertentu dari keempat faktor ini menghasilkan apa yang disebut suhu kenyamanan, yang dapat dinyatakan dalam zona kenyamanan di berbagai macam grafik (contoh: tabel psikometrik).
5. Saat salah satu atau lebih dari keempat faktor lingkungan berada di luar ruang lingkup area kenyamanan, faktor yang tersisa dapat diatur ke atas atau ke bawah untuk memberikan kompensasi sehingga mendapatkan kembali kenyamanan termal.
6. Grafik Psikometrik menjelaskan efek kombinasi suhu dan kelembapan.
7. Beberapa set dari suhu tertentu serta kelembapan-kelembapan dinamakan zona kenyamanan pada grafik psikometrik.
8. Grafik psikometrik-bioklimatik menunjukkan strategi perancangan arsitektur yang paling sesuai untuk berbagai macam tipe iklim yang dibutuhkan oleh suhu dan kelembapan mereka.

REFERENSI

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1997.

Flynn, J. E., et al. *Architectural Interior Systems: Lighting, Acoustics, Air Conditioning.*

Givoni, B. *Man, Climate and Architecture.*

Givoni, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design.*

Stein, B., and J. Reynolds. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.* Sebuah sumber informasi umum.

ORGANISASI

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap.)

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

BAB 5

IKLIM

"Kita harus mulai memerhatikan negara dengan berbagai iklim, di mana rumah akan dibangun jika rancangan untuk rumah tersebut akan diperbaiki. Sebuah tipe rumah cocok untuk Mesir, yang lain cocok untuk Spanyol... sebuah lagi masih beda untuk Roma... Jelas bahwa rancangan rumah harus sesuai dengan iklim yang beragam."

Vitruvius
Arsitek, abad pertama SM

5.1 PENGANTAR

Kata yang dikutip dari Vitruvius mengindikasikan bahwa rancangan bangunan yang harmoni dengan iklim merupakan pemikiran kuno. Untuk merancang yang cocok dengan iklim, perancang perlu mengerti iklim mikro setempat, di samping pengalaman klimatik manusia dan bangunan di lokasi tersebut. Di samping menyesuaikan rancangan bangunan dengan iklim, juga perlu membatasi terlalu meluasnya, menyerasikan iklim dengan yang dibutuhkan bangunan. Kita tidak dapat menyetujui pendapat Mark Twain yang mengatakan "Setiap orang bicara perihal kondisi udara, namun tak seorang pun berbuat sesuatu untuk itu". Sebenarnya mudah melihat, bagaimana orang mengubah iklim mikro dengan tindakan-tindakan, seperti menempatkan kembali tanah pertanian dan hutan dengan material keras dan masif pada kota-kota; melakukan irigasi padang pasir dan membuat kawasan yang lembap; serta membuat konstruksi bangunan berisiko tinggi untuk membentuk lembah berangin. Sayangnya, perubahan ini, dalam iklim mikro, jarang menguntungkan karena mereka biasa bekerja tanpa memerhatikan konsekuensinya.

Namun, yang lebih serius, adalah perubahan yang kita lakukan untuk iklim makro. Seperti dibahas lebih jauh dalam Bab 2, membakar fosil minyak akan meningkatkan jumlah skala besar karbon dioksida di udara. Karbon dioksida, seperti uap air, bersifat transparan terhadap energi matahari, namun tidak untuk radiasi gelombang panjang yang dikeluarkan permukaan bumi. Jadi, daratan dan atmosfir dipanasi oleh gejala yang dikenal sebagai **efek rumah kaca**. Pemanasan bumi mungkin menciptakan perubahan yang tak diinginkan dalam iklim dunia. Juga berbagai unsur kimiawi menghabiskan lapisan ozon dan dalam skala besar merugikan hutan tropis yang mungkin juga menjaga iklim dunia.

Untuk memperoleh gambaran yang tepat hubungan antara bangunan dan iklim mikro serta memperoleh perubahan menguntungkan dalam iklim mikro, kita pertama-tama harus mengetahui pengetahuan dasar iklim.

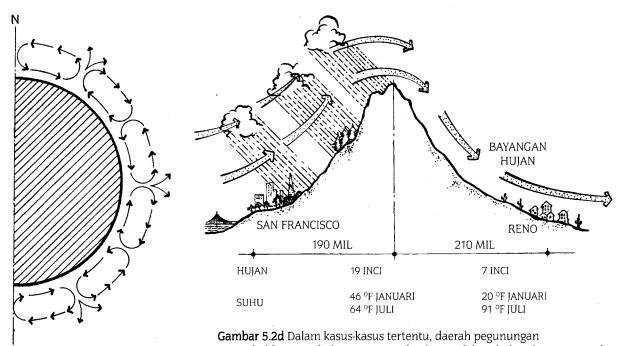
Gambar 5.2a Atmosfir dihangatkan sebagian besar oleh hubungan langsung dengan permukaan tanah yang telah dipanaskan oleh sinar matahari. Secara keseluruhan, tenaga yang diserap oleh bumi sama dengan energi yang memancar kembali ke luar angkasa. Pada musim panas akan ada peningkatan, sedangkan pada musim dingin terdapat pengurangan yang sama.

5.2 IKLIM

Iklim atau cuaca rata-rata terutama merupakan fungsi matahari. Kata *"climate"* berasal berbahan bakar bahasa Yunani *"klima"*, yang berarti kemiringan bumi yang respek terhadap matahari. Orang Yunani yakin bahwa iklim merupakan fungsi garis lintang matahari sehingga mereka membagi dunia dalam zona tropis (panas), sejuk, dan dingin.

Atmosfir adalah mesin pemanas raksasa berbahan bakar matahari. Karena atmosfir transparan terhadap energi surya, pemanasan udara terutama terjadi di permukaan bumi (Gbr. 5.2a). Begitu udara menjadi panas, ia akan naik dan menyebabkan tekanan rendah di daratan. Sebaliknya begitu permukaan bumi tidak sama menerima panas, akan terjadi tekanan relatif rendah atau tinggi dibarengi hembusan angin sebagai konsekuensinya.

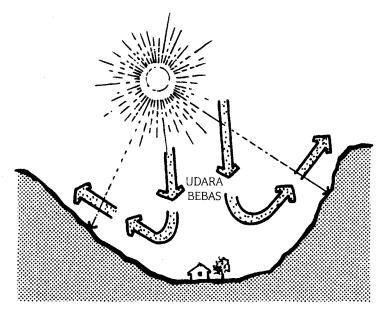
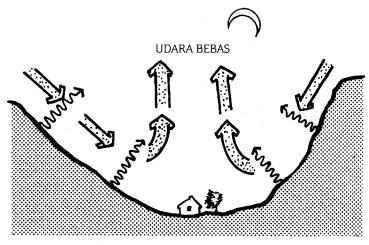
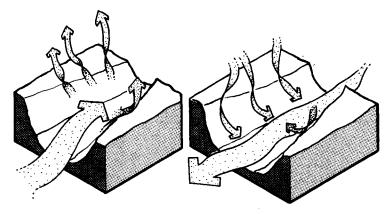
Pergerakan udara dari kawasan utara-selatan terjadi karena ekuator menerima panas lebih besar

Gambar 5.2d Dalam kasus-kasus tertentu, daerah pegunungan menyebabkan perubahan instan mulai dari agak basah dan dingin menjadi iklim panas dan kering. (Dari *American Buildings: 2: The Environment Forces That Shape It* oleh James Marston Fitch, copyright James Marston Fitch, 1972)

Gambar 5.2b Karena bagian bumi lebih panas di garis khatulistiwa dibanding di daerah kutub, maka terjadilah pancaran konveksi arus bumi yang sangat besar.

Gambar 5.2c Pemutaran bumi membelokkan arus udara utara-selatan dengan sebuah efek yang dikenal sebagai kekuatan Coriolis. (Dari *Wind Power for Farms, Homes and Small Industry* oleh Departemen Energi Amerika Serikat, 1978.)

(banyak) dari kutub (Gbr. 5.2b). Pergerakan udara global ini dimodifikasi oleh perubahan musim dan rotasi bumi. (Gbr.5.2c). Faktor besar lainnya adalah pengaruh angin dan iklim yang tidak terdistribusi merata ke seluruh dunia. Karena kapasitas panas yang lebih tinggi, air tidak terpanasi atau berubah dingin secepat daratan. Jadi, suhu mengubah perairan cenderung menjadi lebih moderate dibandingkan daratan. Sebagai contoh, suhu tahunan pada wilayah perairan di Key West, Florida, sekitar 24°F, sementara di wilayah daratan seperti San Antonio, Texas yang hanya sedikit lebih ke utara suhunya sekitar 56°F. Perbedaan suhu di wilayah perairan juga menghasilkan terjadinya perbedaan tekanan yang menimbulkan angin.

Deretan gunung tidak hanya menutup atau mengalihkan angin, tetapi juga memiliki efek utama terjadinya embun di udara. Contoh yang bagus atas gejala penting suatu fenomena iklim di Amerika Barat. Di atas Lautan Pasifik radiasi matahari menguapkan air, menyebabkan udara agak lembap. Di bagian barat, bertiup udara berembun menuju ke daratan, dipaksa oleh deretan gunung di sisi utara-selatan (Gbr. 5.2d). Ketika udara naik, terasa dingin dengan suhu sekitar 5,6°F pada tiap 303 m (1.000 kaki). Ketika suhu udara turun, kelembapan relatif naik sampai mencapai 100 persen, yang merupakan titik jenuh. Setiap penambahan dingin akan menyebabkan embun menjadi padat dalam pembentukan awan, hujan, dan salju. Pada sisi pegunungan yang jauh udara yang lebih kering turun, akibatnya, panas naik lagi. Ketika suhu meningkat, kelembapan relatif turun dan terjadilah mendung. Jadi, pada sebuah puncak bukit dapat terjadi batas jelas antara panas, kering dan lebih dingin, iklim basah.

Pegunungan juga dapat menjadikan angin lokal siang dan malam berbeda. Selama siang hari udara bergerak ke permukaan pegunungan, panas meninggi

Gambar 5.2e Pada siang hari, udara bergerak naik ke atas menuju daerah sisi pegunungan.

Gambar 5.2f Pada malam hari, tanah mendingin secara cepat karena radiasi dan arus udara bergerak turun ke bawah menuju sisi samping pegunungan.

Gambar 5.2g Efek akibat yang terjadi diuraikan pada Gambar. 5.2e dan 5.2f yang banyak terjadi di lembah. Pada siang hari angin kencang menghembus ke atas; pada malam hari angin menghembus pada arah yang berlawanan.

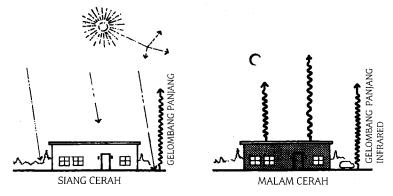
lebih cepat dibandingkan dengan udara bebas pada ketinggian yang sama. Jadi, udara hangat bergerak sepanjang kemiringan bumi pada siang hari (Gbr. 5.2e). Pada malam hari proses yang terjadi sebaliknya: udara turun melalui kemiringan sebab permukaan pegunungan yang dingin oleh radiasi yang lebih cepat daripada udara (Gbr. 5.2f). Pada lembah yang sempit, gejala ini dapat menyebabkan adanya angin kencang sepanjang dasar lembah pada siang hari dan turun ke lembah pada malam hari (Gbr. 5.2g).

Kejadian yang sama siang-malam terjadinya pembalikan arah angin di dekat pusat air yang besar. Kapasitas air yang besar mencegah pemanasan atau pendinginan secepat yang terjadi di daratan. Maka, pada siang hari udara lebih panas di daratan dibanding dengan daerah perairan. Tekanan yang berbeda menyebabkan angin laut (Gbr.5.2h). Pada malam hari, suhu dan udara saling bertukar arah. Menjelang malam dan subuh, saat daratan dan laut bersuhu sama, tidak ada angin. Selanjutnya pada malam hari angin lebih lemah dibanding siang hari sebab perbedaan suhu udara antara daratan dan lautan lebih kecil.

Jumlah embun di udara mempunyai efek di sekeliling suhu. Dalam iklim kering terdapat sedikit embun menutup radiasi matahari sampai ke tanah, jadi, saat siang hari di musim panas suhu sangat tinggi, lebih 100°F. Juga pada malam hari terdapat sedikit embun menutup keluar radiasi gelombang panjang; aki-

batnya malam menjadi dingin dan suhu lebih dari 30°F (Gbr.5.2i). Sebaliknya, pada daerah lembap dan khusus pada wilayah berawan, embun yang menghalangi sebagian radiasi matahari menyebabkan suhu siang hari pada musim panas lebih nyaman—di bawah 90°F. Pada malam hari, radiasi gelombang panjang juga ditutup embun sehingga suhu tidak turun banyak (Gbr. 5.2j). Oleh karena itu, pada siang hari angka rata-rata suhu rendah – di bawah 20°F. Penting untuk dicatat bahwa air memiliki daya tutup lebih besar atas radiasi saat berada dalam bentuk awan dibanding pada saat dalam bentuk gas (kelembapan).

Variasi kekuatan di atmosfir saling memengaruhi untuk membentuk berbagai iklim dalam satu wilayah yang besar. Dalam bab lanjutan akan dilukiskan adanya 17 perbedaan iklim di wilayah Amerika.

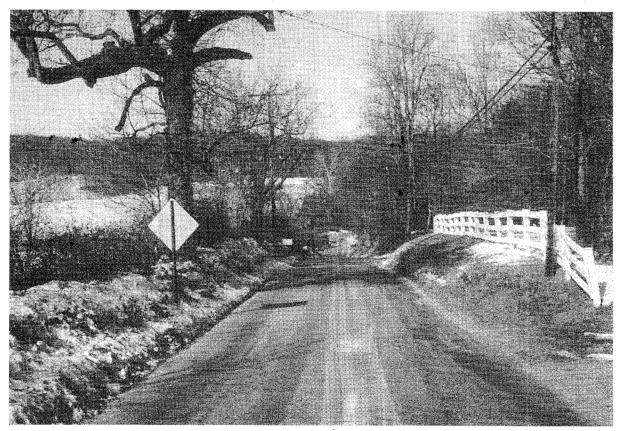
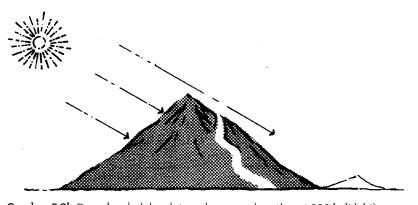
Gambar 5.2h Perbedaan suhu antara daratan dan air menghasilkan angin laut pada siang hari dan angin darat pada malam hari.

Gambar 5.2i Karena iklim kering memiliki sedikit uap air untuk menghalangi radiasi, suhu pada siang hari tinggi dan suhu pada malam hari rendah. Oleh karena itu, jangkauan suhu setiap harinya menjadi besar.

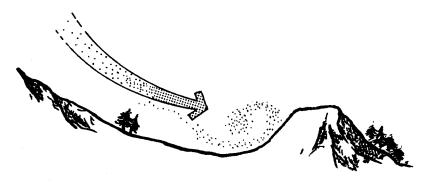
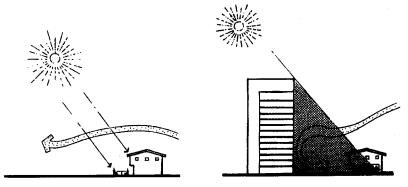
5.3 IKLIM MIKRO

Karena sejumlah alasan, iklim lokal bisa sedikit berbeda dengan kawasan iklim di mana ia ditemukan. Apabila bangunan dimaksudkan agar serasi dengan lingkungan, bangunan tersebut harus dirancang sesuai iklim mikro agar tampak eksistensinya. Faktor berikut merupakan tanggung jawab yang pokok bagi penciptaan penyimpangan iklim mikro dari iklim makro.

Gambar 5.2j Air dalam bentuk kelembapan dan terutama dalam bentuk awan, akan menghalangi radiasi sinar matahari maupun radiasi gelombang panjang. Dengan demikian, pada iklim lembap atau berawan, suhu siang hari tidak begitu tinggi dan suhu pada malam hari tidak begitu rendah. Oleh karena itu, jangkauan setiap harinya kecil.

1. Ketinggian di atas permukaan laut

   Semakin curam tebing pada kemiringan tanah, semakin cepat suhu turun dengan adanya kenaikan ketinggian. Batasnya tentu saja, adalah kenaikan vertikal, yang akan menjadikan pendinginan rata-rata sekitar 3,6 °F per 303 m (1.000 kaki).

Gambar 5.3a Sisi utara (sisi miring selatan) jalan dengan arah timur-barat di Maryland lebih cepat beberapa minggu masuk ke musim semi dibanding dengan sisi selatan (sisi miring utara), di mana salju mencair lebih lambat.

Gambar 5.3b Daerah sebelah selatan akan mendapatkan 1.000 kali lebih banyak radiasi sinar matahari dibanding dengan sebelah utara.

2. Bentuk tanah
   Kemiringan tanah yang menghadap ke selatan lebih hangat dibanding yang menghadap ke utara sebab mereka menerima lebih banyak radiasi sinar matahari (Gbr.5.3a). Karena dasar inilah permainan ski biasanya dijumpai di daerah utara pegunungan, sedangkan kebun anggur tumbuh di sebelah selatan (Gbr.5.3b). Daerah selatan juga dilindungi dari dinginnya angin musim dingin yang biasanya datang dari utara. Tanah di sebelah barat lebih hangat dibanding tanah di timur sebab lama masa radiasi matahari tinggi mengirim suhu udara tinggi ke sekelilingnya pada sore hari. Daerah rendah mengumpulkan udara dingin yang berat (Gbr.5.3c). Jika udara juga berembun, akan terbentuk kabut radiasi. Pada gilirannya, kabut akan membiaskan radiasi sinar matahari sehingga daerah ini merasakan dingin lebih lama pada pagi hari.
3. Ukuran, bentuk, dan perkiraan badan air
   Seperti dipaparkan sebelumnya, wilayah air yang luas me-

Gambar 5.3c Karena udara dingin lebih berat daripada udara hangat, ia akan mengalir ke daerah yang rendah dan membentuk pengumpulan udara dingin.

Gambar 5.3d Sebuah daerah yang terang dan terlindungi dari angin, dapat berubah menjadi iklim mikro yang berangin dan dingin dengan terbangunnya sebuah gedung bertingkat di sisi selatan.

miliki efek kenyamanan suhu yang signifikan menjadikannya tempat tinggal pilihan sehari-hari, yakni daerah daratan dan laut berangin, dan ia menaikkan kelembapan.

4. Jenis tanah

   Kapasitas panas, warna, dan air di dalam tanah dapat memiliki efek penting pada iklim mikro. Pasir berwarna mengkilat dapat memantulkan sejumlah besar cahaya matahari, mengurangi panas tanah serta udara, namun pada saat yang sama peningkatan radiasi yang besar akan dialami oleh manusia atau bangunan. Karena kapasitas panas yang tinggi, batu karang akan menyerap panas selama siang hari dan kemudian melepaskannya lagi pada malam hari. Rumah yang dibangun di tebing curam di barat daya memperoleh banyak keuntungan dari keadaan ini. (Gbr.10.2m)

5. Tanaman

   Dengan caranya menaungi dan memanasi, tanaman dapat secara signifikan mengurangi suhu udara dan daratan. Tanaman juga meningkatkan kelembapan, baik yang sudah tinggi maupun belum. Pada iklim panas dan lembap, situasi yang ideal adalah memiliki penutup atap dari pohon tinggi untuk naungan, namun tak ada tanaman rendah yang dapat menahan angin. Udara yang tertahan pada pohon-pohon rendah dan semak belukar memungkinkan kelembapan terbangun dalam tingkat yang sangat tidak diinginkan. Dalam iklim dingin, pohon dapat mengurangi rasa dingin karena tiupan angin. Tanaman juga bisa mengurangi bising dan membersihkan udara dari debu dan polutan lain.

6. Struktur bangunan buatan manusia

   Gedung, jalan raya, dan tempat parkir mobil, karena jumlah dan ukurannya, mempunyai efek yang signifikan pada iklim mikro. Naungan gedung dapat menyebabkan daerah dingin sebelah utara menyesuaikan diri dengan daerah hangat sebelumnya di sebelah selatan (Gbr.5.3d) seperti yang sudah dibicarakan. Selain itu, gedung-gedung dapat menyebabkan adanya perlindungan dari matahari musim panas dan menghalangi angin dingin musim dingin. Pelapisan jalan pada wilayah yang luas, khusus warna gelap aspal, dapat mengakibatkan suhu naik tinggi hingga 140°F. Udara yang panas itu kemudian merambat menghangatkan wilayah yang berdekatan.

Di kota-kota besar, penggabungan semua efek struktur buatan manusia menghasilkan perbedaan iklim yang signifikan dengan daerah pinggir kota sekelilingnya (Lihat *Palet warna 6 pada sisipan warna*). **Suhu rata-rata tahunan**

Gambar 5.3e Sketsa profil pulau-panas perkotaan yang khas. Hipotesis sebuah profil kota metropolitan memperlihatkan perbedaan suhu (°F) saling berhubungan dengan kepadatan perkembangan dan pepohonan. (Diambil dari, *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfa*cing, LBL-31587, diterbitkan oleh *Lawrence Berkeley National Library*, 1992)

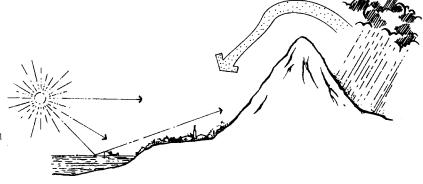
biasanya akan menunjukkan sekitar 1,5°F lebih hangat, sementara suhu minimum sekitar 3°F lebih tinggi. Dalam musim panas kota-kota dapat menjadi 7°F lebih hangat dibandingkan dengan wilayah pedesaan sehingga kadang-kadang dikenal sebagai **pulau panas** (Gbr.5.3e). Namun, radiasi matahari akan lebih rendah sekitar 20 persen karena pengotoran udara dan kelembapan relatif berkurang sekitar 6 persen, sebab sudah dikurangi oleh jumlah tanaman. Meski seluruh kecepatan angin berkurang sekitar 25 persen lebih rendah, kecepatan angin lokal yang sangat tinggi, sering kali terjadi di lorong-lorong kota.

5.4 PENYIMPANGAN IKLIM

Variasi radikal pada iklim sebuah daerah kemungkinan berada di bawah kondisi yang pasti. Satu di antara penyimpangan iklim yang sangat terkenal ditemukan di Lugano Switzerland. Walaupun Lugano memiliki garis lintang yang sama dengan Québec (47 derajat), iklimnya berbeda seakan-akan Lugano berada 1.500 mil lebih jauh ke selatan.

Ketidakbiasaan iklim hangat di sebuah daerah sisi utara ini merupakan kesimpulan bagi wilayah yang memiliki geografi yang unik. Lugano terletak pada kemiringan tanah sebelah selatan pegunungan Alpen yang bertemu dengan sebuah danau besar (Gbr. 5.4). Keduanya akan terekspose penuh, semuanya kita bicarakan, arah langsung matahari musim dingin dan yang direfleksikan oleh danau. Air juga cukup berpengaruh pada perubahan temperatur yang mendadak. Pegunungan Alpen melindungi wilayah tersebut dari dingin dan basahnya angin musim dingin. Angin yang melintasi Alpen itu adalah angin kering dan menjadi panas ketika melalui Siera Nevada di California (Gbr.5.2d). Dan, akhirnya, iklim di Lugano tidak begitu hangat karena rendahnya permukaan tanah. Namun demikian, iklim dingin Alpen hanyalah beberapa mil jauhnya.

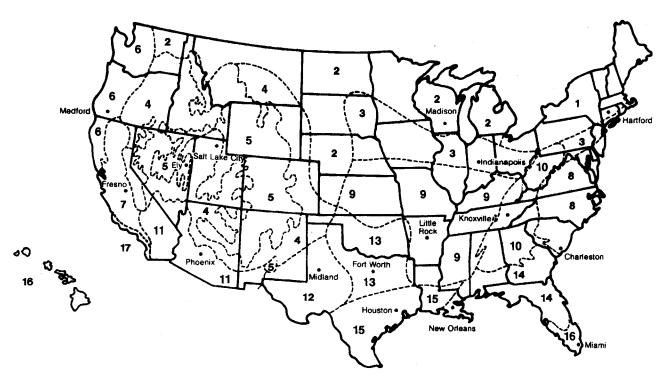
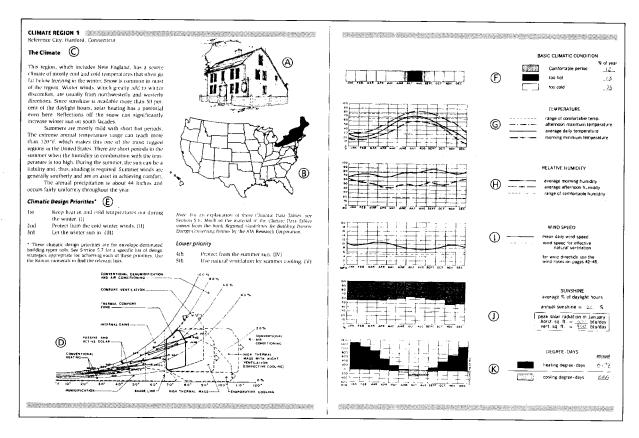
Variasi yang kurang dramatik dalam daerah iklim mikro biasa-

Gambar 5.4 Kombinasi permukaan yang rendah, daerah miring menghadap selatan, pegunungan tinggi ke arah utara, dan sebuah danau yang besar menghasilkan sebuah iklim subtropis di Lugano, Switzerland walaupun letaknya cukup jauh ke utara seperti Quebec.

biasa saja. Bukanlah sesuatu yang biasa menemukan negara datar yang dua wilayahnya hanya dipisahkan beberapa mil, mempunyai perbedaan suhu sebesar 30°F. Daerah pinggir kota sering 7 derajat lebih dingin pada siang hari dan lebih dari 10 derajat lebih dingin pada malam hari dibanding dengan wilayah kota. Bahkan jarak yang hanya 30 m (100 kaki) dapat mempunyai perbedaan yang mencolok. Penulis mencatat perbedaan suhu yang sangat dramatik pada tanah miliknya seluas setengah hektar. Ia memanfaatkannya untuk santai di salah satu bagian kebunnya pada musim panas dan pada bagian lainnya pada musim yang lebih dingin.

Variasi yang sangat khusus dalam iklim mikro sangat jelas pada musim semi. Ketika salju cair, itu menimbulkan ketidakteraturan. Wilayah yang hangat juga yang pertama menampakkan kehijauan musim semi. Wilayah yang cuma beberapa meter terpisah mungkin dua minggu atau lebih memiliki suhu yang berbeda satu sama lainnya. Variasi ini tidak sulit dipahami, jika orang berpikir bahwa di New York pada tanggal 21 Desember, dinding sebelah selatan menerima 108 kali lebih banyak radiasi matahari daripada dinding sebelah utara. Seorang perancang harus tahu bukan hanya iklim di suatu daerah, melainkan juga iklim mikro khusus dari letak gedung.

5.5 WILAYAH IKLIM DI AMERIKA SERIKAT

Tidak ada buku yang pernah melukiskan semua iklim mikro yang ditemukan di Amerika Serikat. Oleh karena itu, para perancang bangunan harus menggunakan data terbaik yang diterbitkan dan dengan modifikasi agar cocok dengan lokasi bangunan. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) mengumpulkan dan menerbitkan secara luas perihal udara dan data perikliman. Lihat pada akhir bab ini yang berisi daftar NOAA dan penerbitan lain soal iklim. Karena informasi yang biasanya dimuat dalam bentuk yang tidak cocok untuk digunakan para arsitek, beberapa data iklim dalam bentuk format grafik dimasukkan dalam buku ini.

Ketika Amerika Serikat dibagi hanya dalam beberapa daerah iklim, informasinya terlalu umum untuk digunakan. Sebaliknya apabila terlalu banyak informasi diberikan, hal itu sering menye-

Gambar 5.5 Peta ini memperlihatkan bagaimana Negara Amerika Serikat terbagi menjadi tujuh belas wilayah iklim yang digunakan dalam buku ini. Deskripsi setiap wilayah iklim dapat dilihat pada Tabel Data Iklim setelah ini.

Gambar 5.6a : Kunci untuk Tabel Data Iklim. Penjelasan setiap iklim akan diuraikan sepanjang dua halaman informasi yang berhadapan.

babkan kesulitan. Untuk mengatasi hal itu, buku ini membagi Amerika Serikat ke dalam tujuh belas wilayah iklim (Gbr.5.5). Sistem subdivisi ini dan sebagian besar informasi keikliman ini didasarkan pada bahan yang termuat dalam buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh AIA/ Research Corporation.

Sisa dari bab ini melukiskan ketujuh belas wilayah tersebut. Termasuk di dalamnya data iklim setiap daerah yang merupakan satu set iklim khusus, sehubungan dengan prioritas yang layak bagi pendirian gedung, seperti rumah dan lembaga kecil serta gedung komersial. Strategi rancangan khusus yang akan menanggapi prioritas rancangan berdasarkan iklim diberikan pada akhir bab (lihat halaman 133, Subbab 5.7). Beberapa kata peringatan sangat penting di sini. Data klimatik berikut ini digunakan hanya sebagai titik awal pemikiran. Sepanjang memungkinkan koreksi hendaknya dibuat untuk menghitung iklim mikro lokal. Untuk pembangunan gedung dekat batas antardaerah, data klimatik dua daerah tersebut harus diperhitungkan. Batas yang ada hendaknya dipikirkan sebagai garis samar, bukannya garis tegas seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5.

5.6 PENJELASAN TERHADAP TABEL DATA IKLIM

Setiap wilayah dari ketujuh belas daerah klimatik digambarkan dengan **Tabel Data Klimatik** yang terdiri dari dua halaman (Gbr.5.6a) dan tiap-tiap bagiannya ditandai dengan huruf besar yang dilingkari.

(A) **Sketsa**

Gambar yang dicantumkan merupakan contoh bangunan tempat tinggal yang cocok bagi iklim daerah tertentu.

(B) **Daerah iklim**

Iklim suatu daerah diberikan oleh data klimatik untuk referensi kota. Warna gelap pada map

menunjukkan daerah khusus di mana data diberikan.

(C) **Iklim**

Bagian Tabel Data Klimatik dilengkapi deskripsi verbal dalam iklim.

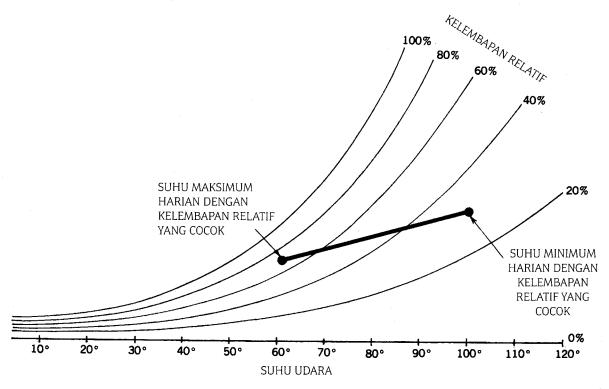
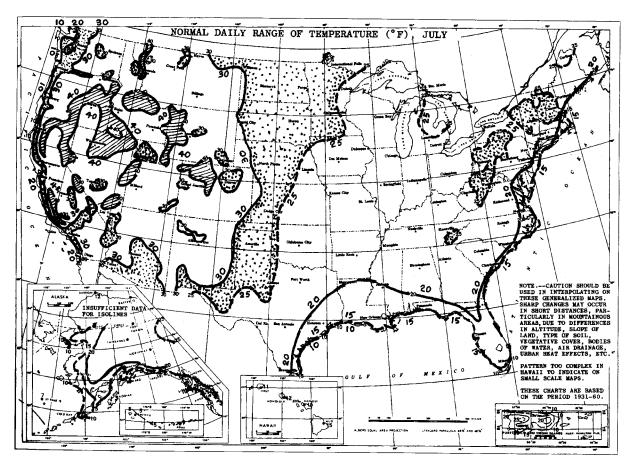
(D) **Grafik *Psychrometri-Bio-climatic***

Tabel ini memperlihatkan gambaran iklim dalam hubungannya dengan kenyamanan suhu dan strategi rancangan yang diminta untuk mewujudkan hal tersebut. Lihat gambar 4.11 untuk penjelasan grafik *psychrometric-bioclimatic.*

Iklim daerah dibeberkan pada chart ini dengan garis lurus, setiap garis menunjukkan suhu dan kondisi kelembapan selama sebulan dalam satu tahun. Setiap garis ditandai dengan catatan bulanan yang nenunjukkan suhu harian normal maksimum dan minimum, dengan kelembapan relatifnya. Garis menghubungkan dua titik yang diperkirakan dapat menunjukkan jenis suhu dan kondisi kelembapan bulan itu (Gbr.5.6b) Kedua belas garis bulanan memberi arti iklim tahunan suatu daerah.

Metode penyampaian iklim ini mempunyai beberapa keuntungan. Melalui grafik dapat dibaca dalam satu diagram baik suhu maupun kelembapan tiap bulan dalam satu tahun. Hal ini penting sebab kenyamanan panas merupakan fungsi akibat digabungkannya suhu dan kelembapan sebagai gejala alami. Ini menunjukkan betapa ketat atau nyaman suatu iklim, merujuk pada hubungannya dengan dua belas garis zona nyaman. Hal tersebut juga menunjukkan strategi rancangan mana yang cocok bagi iklim tertentu. Sebagai contoh, Iklim 7 (Fresno, California) mengindikasikan iklim musim panas yang panas dan untuk itu mengalirkan uap air untuk pendinginan merupakan strategi yang cocok

(E) **Prioritas Perancangan Iklim**

Untuk tiap musim, satu set prioritas rancangan diberikan untuk "bangunan-dominasi-envelope", seperti untuk rumah tinggal dan gedung perkantoran. Gedung yang dikuasai oleh kelompok usaha tertentu secara internal, misalnya gedung besar kurang terpengaruh iklim dan memerlukan sedikit pemanasan dan jauh lebih besar untuk pendinginan. Mereka biasanya juga

Gambar 5.6b Pada Grafik Psikrometrik-bioklimatik *(psychrometric-bioclimatic)* iklim sebuah wilayah sepanjang bulan apa pun diwakili oleh sebuah garis.

Gambar 5.6c Jangkauan suhu harian normal pada bulan Juli. (Diambil dari *Climate Atlas of the US, National Oceanic and Atmospheric Administration* (*NOAA*), 1983)

mempunyai kebutuhan pencahayaan alami yang lebih besar di siang hari. Akibatnya, prioritas ini tidak secara langsung digunakan untuk jenis "Bangunan dominasi internal."

Prioritas dicatat sesuai urutan daftar penting. Perancang harus mulai prioritas pertama dan menggunakannya sebanyak mungkin. Hendaknya dicatat bahwa kata-kata musim panas dan musim dingin digunakan untuk menunjukkan apakah tahun itu udara kelewat panas atau agak panas pada tahun itu, sehingga kalender bulanan tidak penting lagi.

(F) **Kondisi Iklim Dasar**

Tabel ini menunjukkan masa setahun ketika efek gabungan dari suhu dan kelembapan membuat iklim apakah terlalu panas, sangat dingin, atau lumayan nyaman. Tabel menawarkan jawaban cepat terhadap pertanyaan yang menjadi dorongan utama perancangan gedung yang seharusnya rancangan merespons iklim yang terutama sangat panas, sangat dingin, terlalu panas dan terlalu dingin, atau pada umumnya nyaman.

(G) **Suhu**

Suhu yang diberikan adalah suhu rata-rata dari banyak tahun. Meskipun kadang-kadang terjadi suhu jauh lebih tinggi dan lebih rendah dari rata-rata yang terlihat, kebanyakan rancangan didasarkan atas kondisi umum dibandingkan dengan kondisi yang ekstrem. Jarak tegak antara suhu maksimum malam hari dan suhu minimum pagi hari menampakkan adanya suhu sehari-hari. Garis horizontal menandakan zona nyaman.

Suhu harian juga bisa diperoleh dari peta pada Gambar. 5.6c. Pemikiran ini merupakan kejelian dalam memilih teknik pendinginan pasif yang cocok yang akan diterangkan pada Bab 10.

(H) **Kelembapan**

Meski ketika embun murni tetap konstan dalam udara sepan-

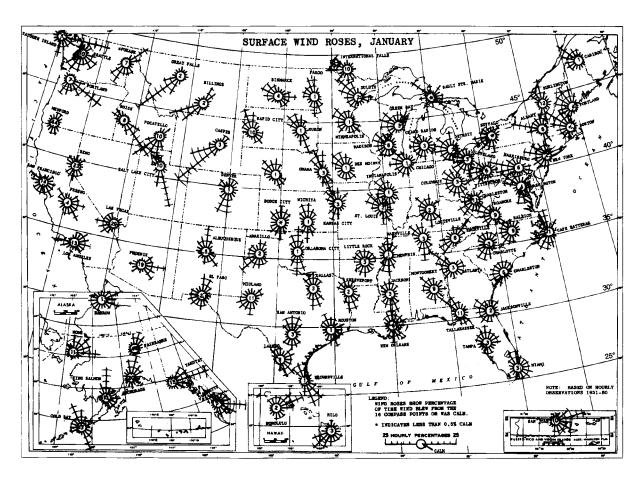
jang hari, kelembapan relatif akan berubah-ubah suhu. Karena udara panas dapat menahan embun lebih banyak daripada udara dingin, kelembapan relatif pada umumnya akan menjadi terendah pada malam hari saat suhu tertinggi. Pada pagi buta ketika suhu dalam posisi terendah, kelembapan relatif menjadi tertinggi.

Garis-garis horizontal merupakan tanda kenyamanan bagi kelembapan relatif. Namun, tingkat kelembapan dalam zona nyaman pun bisa berubah menjadi berlebihan, jika suhu cukup tinggi. Jadi, grafik *psychrometric-bioclimatic* merupakan indikator kenyamanan panas yang lebih baik dibanding tabel ini.

(I) **Angin**

Tabel ini menunjukkan kecepatan angin seharian di lapangan terbuka pada kota yang diamati. Garis titik-titik menandakan kecepatan angin minimum yang diperlukan untuk memenuhi ventilasi alami dalam iklim lembap.

Untuk arah angin, lihat *wind roses* yang ditunjukkan pada peta Amerika Serikat pada Gambar. 5.6d, 5.6e; 5.6f, dan 5.6g. *Wind rose* memperlihatkan persentase waktu angin berhembus pada 16 titik kompas atau dalam kondisi tak ada angin. Setiap derajat menunjukkan 5 persen dari waktu, dan nomor di tengah lingkaran menginformasikan persentase waktu pada kondisi tak ada angin. Peta *wind roses* yang masuk di sini untuk empat bulan kritis: terdingin (Januari), terpanas (Juli), dan bulan transisi (April dan Oktober). Peta-peta tersedia setiap bulan di Climate Atlas of the United States.

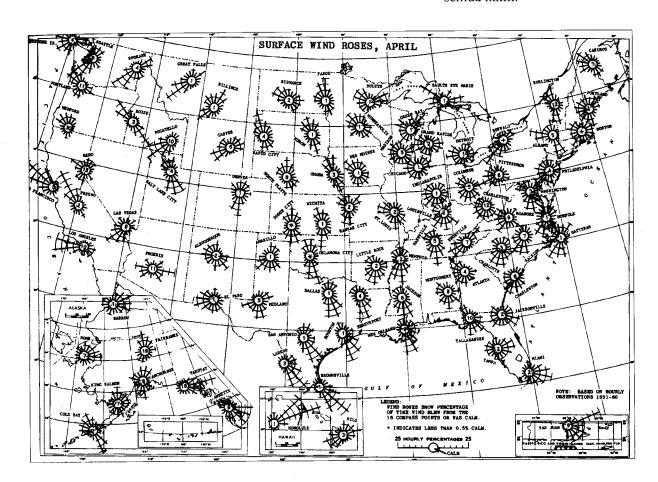
Ini sungguh-sungguh penting untuk dicatat, bahwa arah angin lokal dan kecepatan dapat sangat berbeda pada stasiun udara sehingga semua tabel tentang angin harus digunakan dengan hati-hati.

Gambar 5.6d *Surface wind roses* pada bulan Januari (Diambil dari *Climate Atlas of the US, National Oceanic and Atmospheric Administration* (*NOAA*), 1983)

TABEL 5.6 *Jam Cahaya Matahari Per Hari**

	Latitude		
Month	*30°N*	*40°N*	*50°°*
Januari	10:25	9:39	8:33
Februari	11:09	10:43	10:07
Maret	11:58	11:55	11:51
April	12:53	13:15	13:45
Mei	13:39	14:23	15:24
Juni	14:04	15:00	16:21
Juli	13:54	14:45	15:57
Agustus	13:14	13:46	14:30
September	12:22	12:28	12:39
Oktober	11:28	12:28	12:39
November	10:39	9:59	9:04
Desember	10:14	9:21	8:06

*Nilai yang diberikan untuk lima belas hari setiap bulan

(J) Cahaya Matahari

Tabel ini memperlihatkan persentase jam cahaya alami siang hari setiap bulan saat matahari bersinar. Data ini berguna bagi pemanasan oleh matahari, bayangan, dan rancangan cahaya alami. Tabel menunjukkan bahwa sinar matahari langsung sangat berlimpah dalam semua iklim. Sejak adanya sekitar 4.460 jam cahaya siang setiap tahun, persentase ini mengindikasikan bahwa terdapat lebih dari 2.000 jam matahari, bahkan pada iklim paling berawan. Jadi, matahari langsung merupakan pertimbangan utama rancangan dalam semua iklim.

Gambar 5.6e *Surface wind roses* pada bulan April (Diambil dari *Climate Atlas of the US, National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), 1983)

Untuk menentukan jumlah rata-rata dan jam sinar matahari setiap bulan, kalikan persentase sinar matahari dari tabel dengan jumlah jam sinar matahari Tabel 5.6. Karena jumlah jam cahaya siang berubah sesuai garis lintang, tabel menunjukkan nilai untuk 80 derajat, 40 derajat, dan 50 derajat lintang utara.

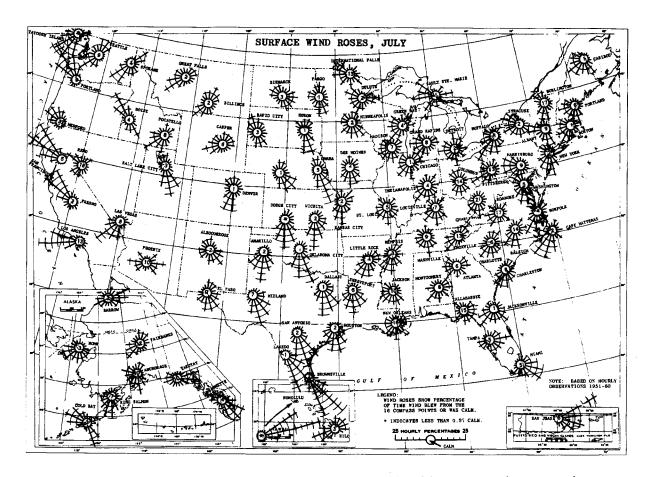
Persentase tahunan sinar matahari ditunjukkan pada sebelah kanan tabel. Pada data sinar matahari, beberapa data radiasi matahari juga diberikan (dalam kotak segi panjang). Data ini dapat memberi estimasi cepat panas matahari tertinggi yang dapat diharapkan selama satu hari dalam bulan Januari pada segi empat garis horizontal dan vertikal

(K) *Degree Days*

"Degree Days" merupakan indikator baik buruknya pada musim dingin dan musim panas. Walaupun konsep dikembangkan untuk memprediksi jumlah energi panas yang diperlukan untuk pemanasan saat ini juga digunakan untuk memprediksi jumlah energi yang diperlukan untuk pendinginan. ***Degree days*** menunjukkan tipikal berdasarkan 65°F. Perbedaan suhu rata-rata hari tertentu dengan 65°F adalah angka *degree-days* untuk hari tersebut. Tabel memperlihatkan jumlah *degree-days* setiap bulan dengan pemanasan *degree-days* di atas garis nol, dan pendinginan *degree-days* di bawahnya. Jadi, sebenarnya mudah untuk menentukan panjang dan kedalaman periode pemanasan serta pendinginan, dan bentuk relatif setiap periode. Total tahunan diberikan dalam bentuk angka.

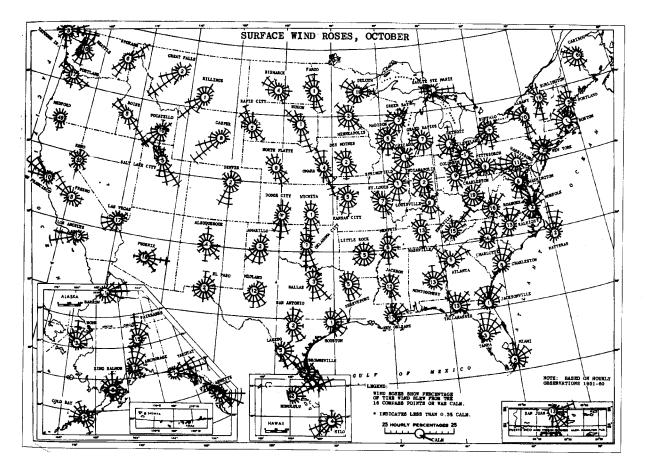
Cara Praktis *(Degree-Days)*

Heating Degree-Days **(HDDs)**

1. Wilayah dengan lebih dari 5.500 HDDs per tahun disebut sebagai musim dingin yang panjang.
2. Wilayah dengan lebih kecil dari 2.000 HDDs per tahun

Gambar 5.6f *Surface wind roses* pada bulan Juli (Diambil dari *Climate Atlas of the US, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 1983)

disebut sebagai musim dingin yang sangat nyaman.

Cooling Degree-Days (CDDs)

1. Wilayah dengan lebih dari 1.500 CDDs per tahun dapat digambarkan dengan musim panas yang panjang dan membutuhkan pendinginan.
2. Wilayah dengan lebih kecil dari 500 CDDs per tahun disebut sebagai musim panas yang nyaman dan diperlukan sedikit pendinginan dengan mekanikal.

Gambar 5.6g : *Surface wind roses* pada bulan Oktober (Diambil dari *Climate Atlas of the US, National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), 1983)

IKLIM DAERAH 1

Kota Acuan: Hartford, Connecticut

Iklim

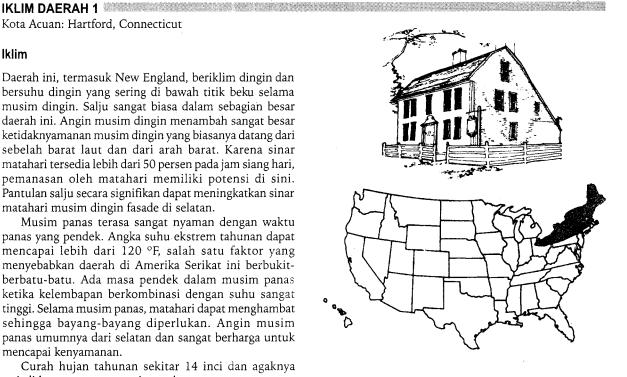
Daerah ini, termasuk New England, beriklim dingin dan bersuhu dingin yang sering di bawah titik beku selama musim dingin. Salju sangat biasa dalam sebagian besar daerah ini. Angin musim dingin menambah sangat besar ketidaknyamanan musim dingin yang biasanya datang dari sebelah barat laut dan dari arah barat. Karena sinar matahari tersedia lebih dari 50 persen pada jam siang hari, pemanasan oleh matahari memiliki potensi di sini. Pantulan salju secara signifikan dapat meningkatkan sinar matahari musim dingin fasade di selatan.

Musim panas terasa sangat nyaman dengan waktu panas yang pendek. Angka suhu ekstrem tahunan dapat mencapai lebih dari 120 °F, salah satu faktor yang menyebabkan daerah di Amerika Serikat ini berbukit-berbatu-batu. Ada masa pendek dalam musim panas ketika kelembapan berkombinasi dengan suhu sangat tinggi. Selama musim panas, matahari dapat menghambat sehingga bayang-bayang diperlukan. Angin musim panas umumnya dari selatan dan sangat berharga untuk mencapai kenyamanan.

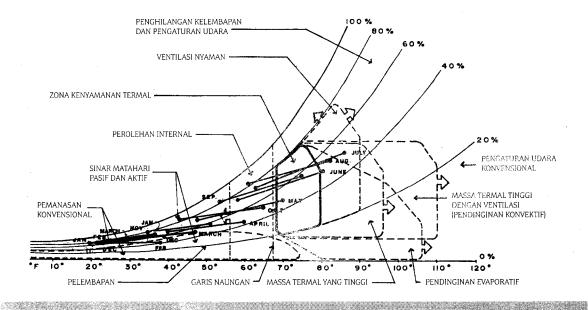
Curah hujan tahunan sekitar 14 inci dan agaknya terjadi keseragaman sepanjang tahun.

Prioritas Rancangan Klimatik:*

1. Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin tetap di luar selama musim dingin (I)
2. Lindungi dari angin dingin musim dingin (II)
3. Biarkan matahari musim dingin masuk (III).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya untuk tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

Prioritas lebih rendah

4. Lindungi dari matahari musim panas (IV)
5. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas (V)

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	12
terlalu panas	13
terlalu dingin	75

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 57 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 500 btu/day
vert. sq. ft. = 900 btu/day

TINGKAT–HARI

	tahunan
tingkat–hari–pemanasan	6.174
tingkat–hari–pendinginan	666

IKLIM DAERAH 2

Kota Acuan: Madison Wisconsin

Iklim

Iklim daerah sebelah utara sama dengan daerah 1, namun lebih dahsyat sebab di daerah pedalaman jauh dari pengaruh nyaman samudera. Masalah pokok berkenaan dengan suhu rendah pada musim dingin yang sering dikombinasi dengan kecepatan angin yang tinggi.

Walaupun musim panas sangat panas, hal itu tidak terlalu mengganggu sebab masanya pendek. Matahari merupakan aset yang berharga dalam musim dingin dan penghalang/penghambat dalam musim panas.

Curah hujan tahunan sekitar 31 inchi berlangsung sepanjang tahun, tetapi pada bulan musim panas menerima lebih dari dua kali dibanding pada musim dingin.

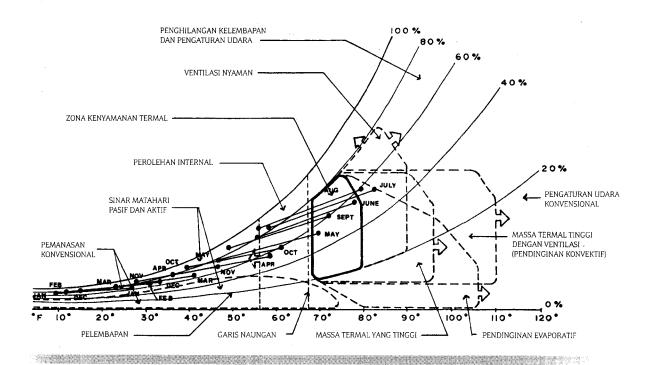
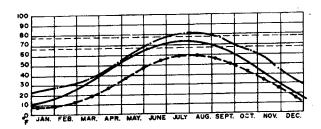
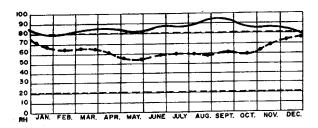
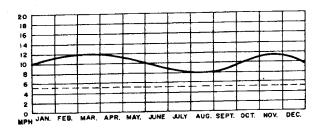
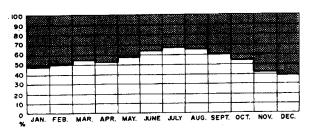
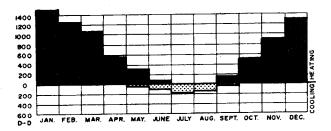
*Prioritas Perancangan Klimatik**

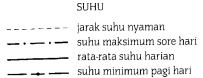
1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan suhu dingin tetap di luar pada musim dingin (I).
2. Lindungi dari angin dingin musim dingin (II).
3. Biarkan matahari musim dingin masuk (III).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5,7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

Prioritas lebih rendah

4. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu siang ke malam pada musim panas (VII)
5. Lindungi dari matahari musim panas (IV)
6. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas (V)

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	12
terlalu panas	12
terlalu dingin	76

SUHU

jarak suhu nyaman
suhu maksimum sore hari
rata-rata suhu harian
suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

rata-rata kelembapan pagi
rata-rata kelembapan sore
jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

mean kecepatan angin harian
kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 54 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 600 btu/day
vert. sq. ft. = 1100 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	7.642
tingkat-hari-pendinginan	467

IKLIM DAERAH 3

Kota Acuan: Indianapolis, Indiana

Iklim

Iklim daerah barat-tengah ini mirip dengan daerah 1 dan 2, namun memiliki musim dingin yang lebih ringan. Meskipun demikian, angin dingin merupakan hal yang penting. Rata-rata salju turun per tahun berkisar antara 12 hingga 16 inchi. Ada beberapa potensi tenaga matahari pada musim dingin karena matahari pada musim tersebut bersinar lebih dari 40 persen dari cahaya siang.

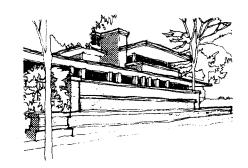
Beban pendinginan yang signifikan merupakan hal biasa karena suhu musim panas yang tinggi sering kali disertai kelembapan yang tinggi. Angin merupakan sebuah aset pada musim panas.

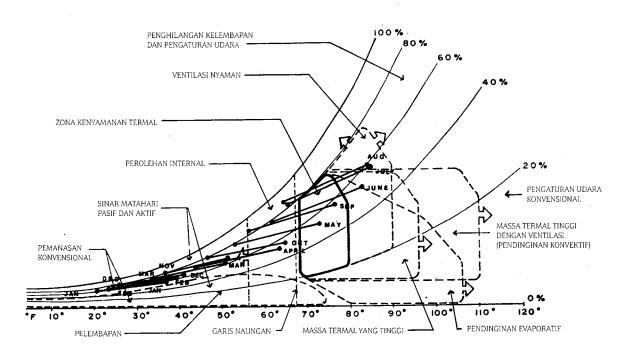
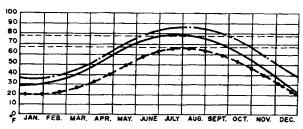
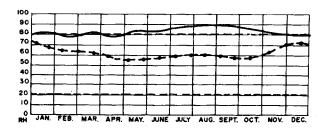
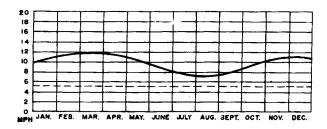
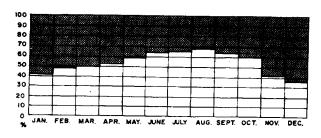
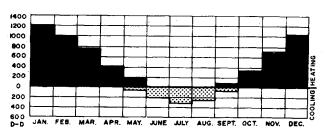
Curah hujan tahunan adalah sekitar 39 inchi dan berlangsung sepanjang tahun dengan konstan.

*Prioritas Perancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan suhu dingin tetap di luar pada musim dingin (I)
2. Lindungi dari angin dingin musim dingin (II).
3. Biarkan matahari musim dingin masuk (III).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5,7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

Prioritas lebih rendah

4. Jaga udara panas tetap di luar selama musim panas (VIII).
5. Lindungi dari matahari musim panas (IV).
6. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas (V).

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	14
	terlalu panas	20
	terlalu dingin	66

SUHU

- - - - - - - jarak suhu nyaman
—·—·— suhu maksimum sore hari
——— rata-rata suhu harian
—•— suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

——— rata-rata kelembapan pagi
—•— rata-rata kelembapan sore
- - - - - - - jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

——— mean kecepatan angin harian
- - - - - - - kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 55 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 500 btu/day
vert. sq. ft. = 800 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	5.650
tingkat-hari-pendinginan	988

IKLIM DAERAH 4

Kota Acuan: Salt Lake City, Utah

Iklim

Ini iklim pada *Great Plains*, lembah sungai di antara pegunungan dan dataran tinggi. Iklim dengan curah hujan sedikit dengan musim dingin berangin dan musim panas yang hangat kering. Musim dingin sangat dingin dengan frekuensi badai pendek pada periode hari yang cerah.

Suhu musim panas tinggi, namun kelembapan rendah. Jadi, di musim panas suhu siang hari tinggi dan malam hari umumnya dingin.

Curah hujan tahunan sekitar 15 inchi dan agaknya terjadi keseragaman sepanjang tahun, tetapi musim semi merupakan musim terbasah.

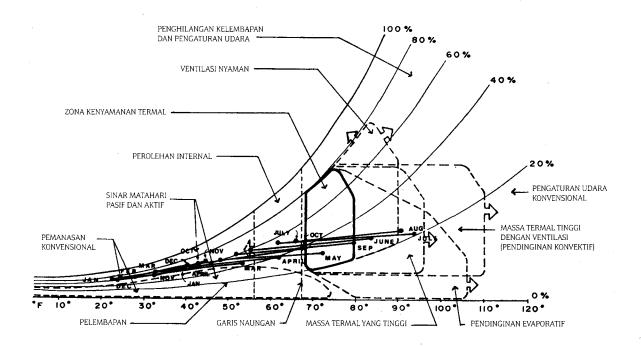
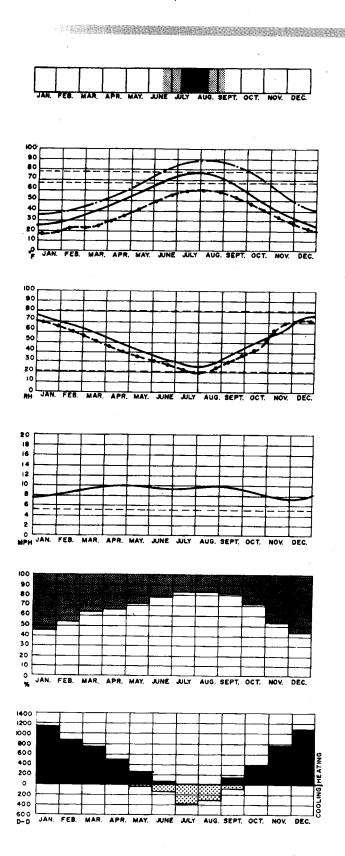
*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan hindari suhu dingin di musim dingin (I).
2. Biarkan matahari musim dingin masuk (II).
3. Lindungi dari dingin angin musim dingin (III).

Prioritas lebih rendah

4. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian pada musim panas (VII).
5. Lindungi dari sinar matahari musim panas (IV).
6. Gunakan pendinginan dengan penguapan dalam musim panas (IX).
7. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas (V).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	12
	terlalu panas	11
	terlalu dingin	77

SUHU

- - - - - - jarak suhu nyaman
— · — · — suhu maksimum sore hari
——— rata-rata suhu harian
—•— suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

——— rata-rata kelembapan pagi
—•— rata-rata kelembapan sore
- - - - - - jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

——— mean kecepatan angin harian
- - - - - - kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 66 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 700 btu/day
vert. sq. ft. = 1100 btu/day

TINGKAT–HARI

	tahunan
tingkat–hari–pemanasan	5.802
tingkat–hari–pendinginan	981

IKLIM DAERAH 5

Kota Acuan: Ely, Nevada

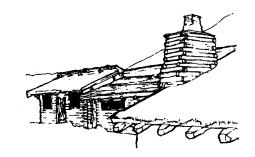
Iklim

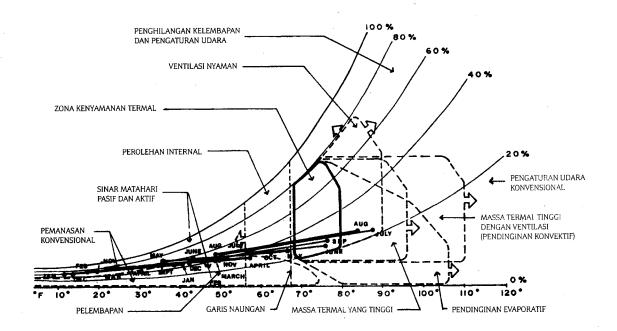
Ini merupakan daerah tinggi, bergunung-gunung, dan merupakan daerah dengan curah hujan sedikit berada di atas 2121 m. (7.000 kaki) pada garis lintang selatan dan di atas 1818 m. (6.000 kaki) lintang utara. Umumnya iklim di daerah ini dingin dan sejuk. Salju berlimpah dan tertumpuk di atas tanah pada lebih dari setengah tahun. Timbunan salju yang menutup tanah sangat besar, dengan keadaan berorientasi kemiringan dan ketinggian, menyebabkan berpengaruh terhadap suhu. Pemanasan sering kali diharapkan sepanjang tahun. Untungnya, sinar matahari siang hari tersedia lebih dari 60 persen pada musim dingin.

Suhu musim panas terasa enak dan nyaman, dan kenyamanan pun dapat dicapai hanya melalui ventilasi alami. Malam di musim panas agak dingin karena suhu siang hari tinggi.

Curah hujan tahunan sekitar 9 inci dan agaknya terjadi keseragaman sepanjang tahun.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan suhu dingin musim dingin tetap di luar (I).
2. Biarkan matahari musim dingin masuk (III).
3. Lindungi dari angin dingin di musim dingin (II).
4. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas (VII).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	8
	terlalu panas	0
	terlalu dingin	92

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 73 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 900 btu/day
vert. sq. ft. = 1600 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	7.700
tingkat-hari-pendinginan	192

IKLIM DAERAH 6

Kota Acuan: Medford Oregon

Iklim

California Selatan, yakni Oregon dan daerah pantai Washington sangat nyaman iklimnya. Dalam musim dingin bersuhu dingin dan biasanya turun hujan. Meski langit sering berawan, pemanasan oleh matahari masih mungkin sebab kandungan sedikit panas dimungkinkan oleh iklim yang lembut nyaman. Kelembapan relatif tinggi bukan masalah penting karena hal tersebut tidak bersamaan dengan suhu panas yang tinggi.

Daerah itu memiliki banyak variasi luas dalam hal iklim mikro disebabkan oleh pergantian ketinggian dan jarak dari pantai. Di beberapa daerah, angin musim dingin merupakan masalah yang penting. Oleh karena itu, seorang perancang harus memperolah data tambahan cuaca lokal.

Curah hujan tahunan sekitar 20 inchi, namun kebanyakan terjadi dalam bulan-bulan musim dingin. Pada musim panas agak kering dan bermatahari.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan suhu dingin selama musim dingin tetap di luar (I).
2. Biarkan matahari musim dingin masuk (terutama sebaran matahari karena awan) (III).
3. Lindungi dari angin dingin musim dingin (II).

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	13
terlalu panas	8
terlalu dingin	79

SUHU

- - - - - - jarak suhu nyaman
—·—·— suhu maksimum sore hari
——— rata-rata suhu harian
—•— suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

——— rata-rata kelembapan pagi
—•— rata-rata kelembapan sore
- - - - - - jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

——— mean kecepatan angin harian
- - - - - - kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 47 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 300 btu/day
vert. sq. ft. = 550 btu/day

TINGKAT–HARI

	tahunan
tingkat–hari–pemanasan	4.798
tingkat–hari–pendinginan	645

IKLIM DAERAH 7

Kota Acuan: Fresno, California

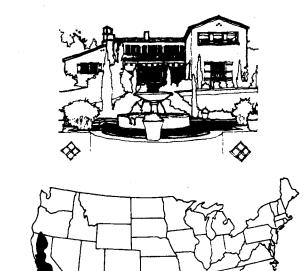
Iklim

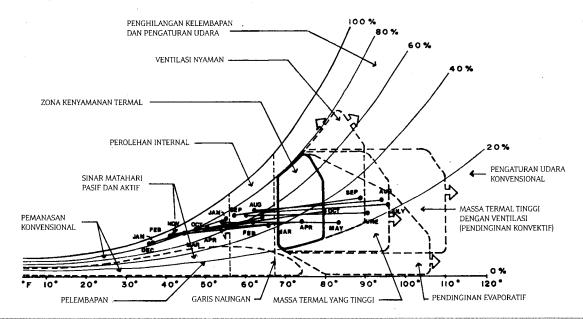
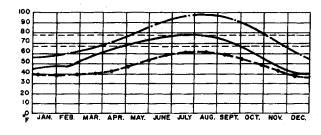
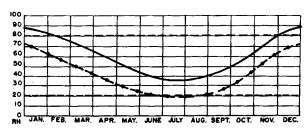
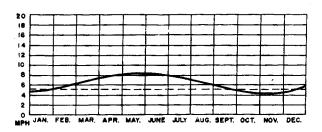
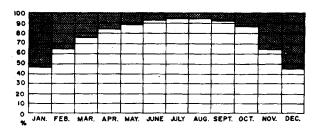
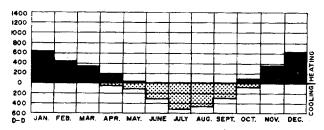
Daerah ini termasuk Pusat Lembah California dan bagian dari pusat pantai. Musim dingin berhawa cukup dingin enak terutama dengan hujan tahunan sekitar 11 inci selama periode itu. Walaupun begitu, cahaya matahari musim dingin tetap berlimpah.

Musim panas terasa kering dan panas. Kelembapan yang rendah disebabkan perbedaan suhu harian dan akibatnya malam musim panas terasa dingin. Jarang hujan selama bulan musim panas. Musim semi dan musim gugur sangat nyaman, dan banyak waktu lainnya sepanjang tahun itu yang juga sungguh-sungguh nyaman sehingga berkegiatan di ruang luar sangat populer di daerah tersebut.

Karena jarak yang berbeda-beda dari laut, terjadi perubahan penting dalam iklim mikro. Di dekat pantai suhu lebih nyaman baik di musim dingin maupun di musim panas. Tak ada musim dingin atau musim panas yang mendominasi iklim di daerah ini.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas dan hindari suhu dingin selama musim dingin masuk ke dalam. (I)
2. Jaga suhu panas tetap di luar selama musim panas. (VIII)
3. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
4. Lindungilah dari matahari musim panas. (IV)
5. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas. (VII)
6. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin dalam musim semi dan musim gugur. (V)
7. Gunakan pendinginan dengan penguapan pada musim panas. (IX)
8. Perlindungan dari angin dingin musim dingin. (II)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	21
	terlalu panas	17
	terlalu dingin	62

SUHU

jarak suhu nyaman
suhu maksimum sore hari
rata-rata suhu harian
suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

rata-rata kelembapan pagi
rata-rata kelembapan sore
jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

mean kecepatan angin harian
kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 78 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 600 btu/day
vert. sq. ft. = 1050 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	2.647
tingkat-hari-pendinginan	1.769

IKLIM DAERAH 8

Kota Acuan: Charleston, South Carolina

Iklim

Iklim Pantai Atlantik Tengah ini memiliki suhu udara relatif yang terbagi dalam empat musim. Meski musim panas sangat panas dan lembap, musim dingin agak sejuk, musim semi dan musim gugur secara umum cukup menyenangkan. Angin musim panas merupakan aset berharga dalam iklim panas lembap.

Curah hujan tahunan sekitar 47 inci dan agaknya menjadi seragam sepanjang tahun. Bagaimanapun, musim panas adalah musim terbasah dengan munculnya petir pada masa itu. Kemungkinan terjadi badai tropis.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

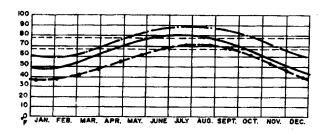
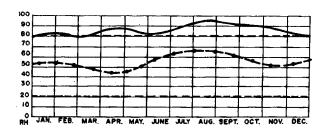
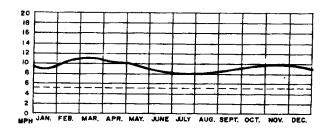
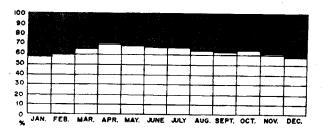
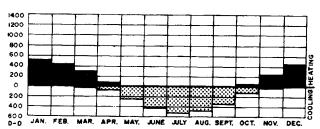
1. Jaga panas tetap di dalam dan udara dingin di luar selama musim dingin (I)
2. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin di musim panas. (V)
3. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
4. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)

Prioritas lebih rendah

5. Perlindungan dari angin musim dingin yang dingin. (II)
6. Hindari tambahan kelembapan selama musim panas. (X)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi bangunan *'envelope dominated'*. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	12
terlalu panas	42
terlalu dingin	46

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 65 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 900 btu/day
vert. sq. ft. = 1300 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	1.868
tingkat-hari-pendinginan	2.304

IKLIM DAERAH 9

Kota Acuan: Little Rock, Arkansas.

Iklim

Iklim di Lembah Mississippi sama dengan Daerah 8, kecuali sedikit lebih kuat waktu musim panas dan musim dingin karena jarak dari laut. Musim dingin agak sejuk dengan angin dingin menusuk dari barat laut. Musim panas, panas dan lembap dengan angin sering bertiup dari barat daya.

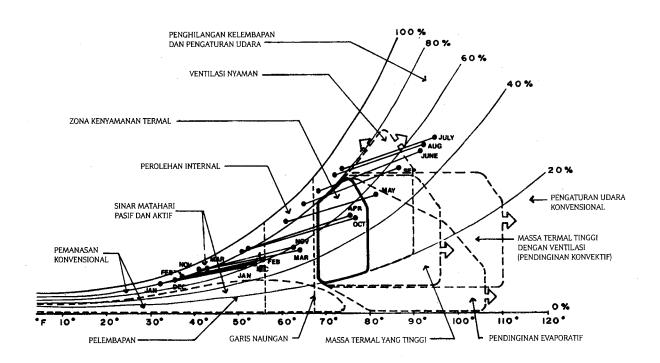
Curah hujan tahunan sekitar 49 inci dan agaknya menjadi seragam sepanjang tahun.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di dalam dan suhu dingin tetap di luar selama musim dingin. (I)
2. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
3. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas. (V)
4. Lindungi dari angin dingin musim dingin. (II)
5. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
6. Hindari terjadinya tambahan kelembapan selama musim panas. (X)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya ditujukan bagi bangunan *'envelope dominated'*. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	13
terlalu panas	35
terlalu dingin	52

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 °F
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 RH
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 MPH
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 %
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 62 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 600 btu/day
vert. sq. ft. = 900 btu/day

1400 1200 1000 800 600 400 200 0 200 400 600 D-D
HEATING | COOLING
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	3.152
tingkat-hari-pendinginan	2.045

IKLIM DAERAH 10

Kota Acuan: Knoxville, TN

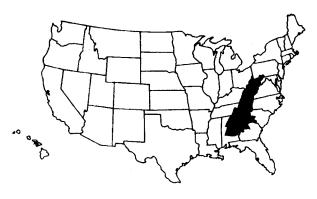
Iklim

Iklim di Appalachia relatif sedang, dengan musim semi dan musim gugur yang panjang dan menyenangkan. Musim dingin agak dingin dengan efek pendinginan yang signifikan karena hembusan angin. Suhu agak dingin pada daerah sebelah utara ujung daerah ini. Salju juga lebih banyak ditemukan di daerah ujung sebelah utara walaupun sering kali itu terjadi di ketinggian yang lebih tinggi di ujung sebelah selatan daerah ini.

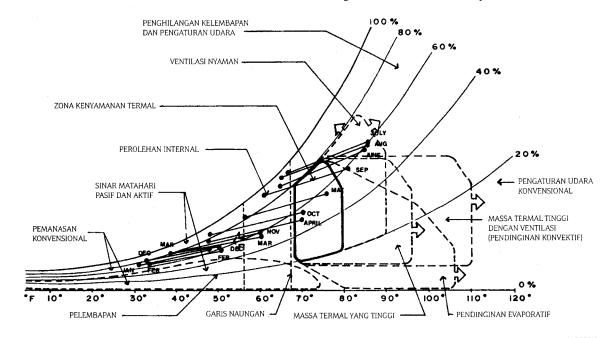
Musim panas memiliki suhu yang panas dan sedikit lembap. Namun, kelembapan itu cukup rendah untuk memberi kecerahan pada malam yang dingin sehingga angka suhu siang hari agak tinggi. Di sana juga tersedia cukup angin untuk pendingin di musim panas.

Curah hujan tahunan sekitar 47 inci dan agak menjadi seragam sepanjang tahun.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin di luar selama musim dingin. (I)
2. Gunakan ventilasi alami bagi pendingin musim panas. (V)
3. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
4. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
5. Lindungi dari angin dingin musim dingin. (II)
6. Hindari terjadi tambahan kelembapan selama musim panas. (X)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok buat mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	16
terlalu panas	28
terlalu dingin	56

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 °F
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 RH
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

20 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 MPH
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 %
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 55 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 600 btu/day
vert. sq. ft. = 800 btu/day

1400 1200 1000 800 600 400 200 0 200 400 600 D-D
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.
COOLING | HEATING

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	3.658
tingkat-hari-pendinginan	1.449

IKLIM DAERAH 11

Kota Acuan: Phoenix Arizona

Iklim

Iklim di daerah padang pasir barat daya dikenal dengan musim panas yang ekstrem dan kering serta musim dingin yang sedang. Langit terang hampir sepanjang tahun dengan sinar matahari tahunan sekitar 85 persen.

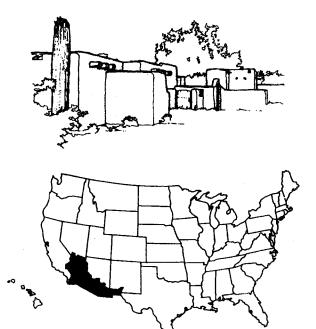
Karena musim panas ekstrem panas dan kering, suhu siang hari sangat tinggi, perbedaan suhu cukup besar dan akibatnya pada malam hari agak dingin. Hampir sepanjang tahun kelembapan berada di bawah zona kenyamanan. Puncak panas di musim panas merupakan hal yang paling mendapat perhatian para perancang.

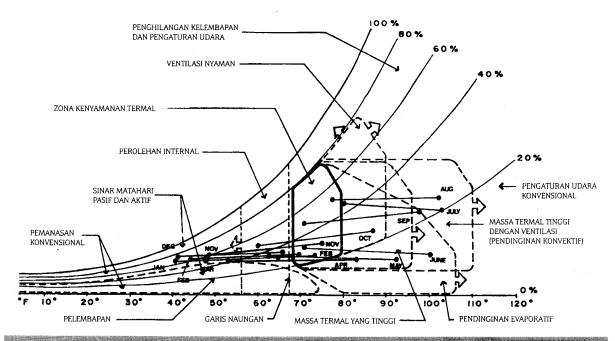
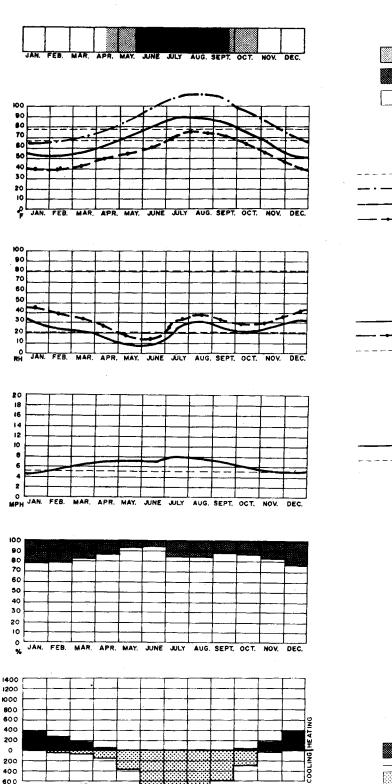
Curah hujan tahunan sekitar 7 inci cukup rendah dan terjadi sepanjang tahun. Namun, April, Mei, dan Juni merupakan bulan terkering, sementara Agustus adalah terbasah dengan satu inci hujan.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di luar selama musim panas. (I)
2. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
3. Gunakan pendinginan dengan penguapan dalam musim panas. (IX)
4. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas. (VII)

Prioritas lebih rendah

5. Jaga suhu panas di dalam dan udara dingin tetap di luar selama musim dingin. (I)
6. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
7. Gunakan ventilasi alami untuk pendinginan dalam musim semi dan musim gugur. (VI)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5,7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	15
terlalu panas	37
terlalu dingin	48

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 85 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 1200 btu/day
vert. sq. ft. = 1600 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	1.442
tingkat-hari-pendinginan	3.746

IKLIM DAERAH 12

Kota Acuan: Midland, TX

Iklim

Daerah Texas Barat dan New Mexico Tenggara ini beriklim sedikit panas pada bulan musim panas, dan dingin pada musim dingin. Banyaknya sinar matahari lebih dari 60 persen dalam musim dingin, dapat menyuplai panas matahari. Kelembapan rendah pada musim panas memfasilitasi secara efektif dengan menggunakan pendingin uap. Dengan demikian, di daerah ini, perancang klimatik dapat memiliki banyak keuntungan oleh dampak panas untuk kenyamanan termal.

Curah hujan tahunan sekitar 14 inci, dan meskipun itu terjadi sepanjang tahun, sebagian besar hujan jatuh pada bulan musim panas.

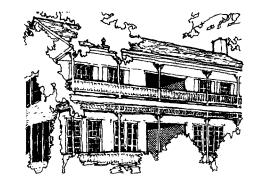
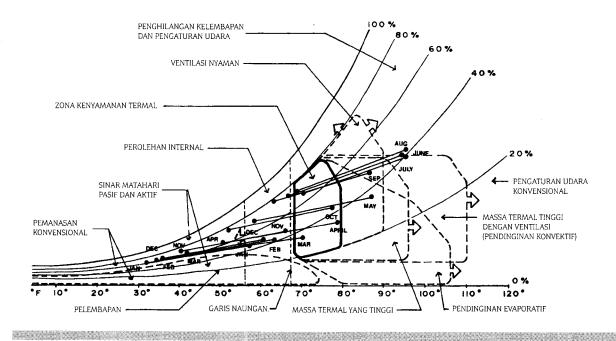
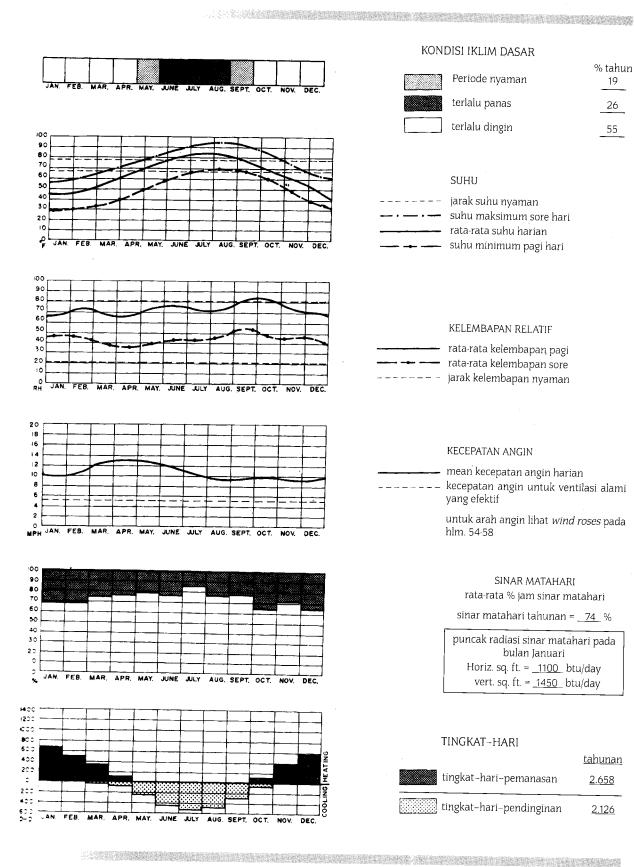
Prioritas Rancangan Klimatik *

1. Gunakan pendingin dengan penguapan selama musim panas. (IX)
2. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
3. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
4. Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin tetap di luar selama musim dingin. (I)
5. Hindari suhu panas selama musim panas. (VIII)
6. Lindungi dari angin dingin musim dingin. (II)
7. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas. (V)
8. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian pada musim panas. (VII)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.
KONDISI IKLIM DASAR
% tahun
Periode nyaman 19
terlalu panas 26
terlalu dingin 55
°F
SUHU
jarak suhu nyaman
suhu maksimum sore hari
rata-rata suhu harian
suhu minimum pagi hari
RH
KELEMBAPAN RELATIF
rata-rata kelembapan pagi
rata-rata kelembapan sore
jarak kelembapan nyaman
MPH
KECEPATAN ANGIN
mean kecepatan angin harian
kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif
untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58
%
SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari
sinar matahari tahunan = 74 %
puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 1100 btu/day
vert. sq. ft. = 1450 btu/day
HEATING
COOLING
TINGKAT-HARI
tahunan
tingkat-hari-pemanasan 2.658
tingkat-hari-pendinginan 2.126

IKLIM DAERAH 13

Kota Acuan: Fort Worth, Texas

Iklim

Area Oklahoma dan Texas Utara ini beriklim musim dingin yang dingin dan musim panas yang panas. Angin dingin datang dari utara dan timur laut. Terdapat cukup cahaya matahari yang signifikan bagi pemanasan oleh matahari di musim dingin.

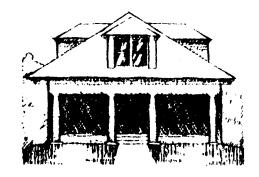
Selama bagian bulan musim panas, suhu tinggi dan kelembapan yang agak tinggi menyebabkan kondisi gabungan ini tidak nyaman. Selama waktu lain pada musim panas, kelembapan menurun, sehingga memungkinkan pendingin uap bekerja. Angin musim panas pun cukup banyak untuk ventilasi alami.

Selama musim panas yang lebih kering, khususnya selama musim semi dan musim gugur, jarak suhu diurnal cukup besar sehingga mendorong penggunaan massa termal. Curah hujan tahunan sekitar 29 inci dan agaknya hal itu menjadi seragam sepanjang tahun.

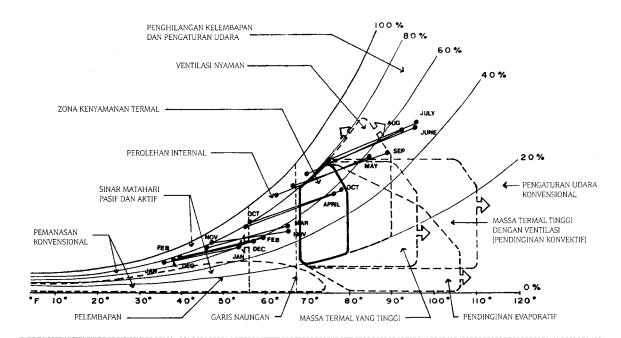
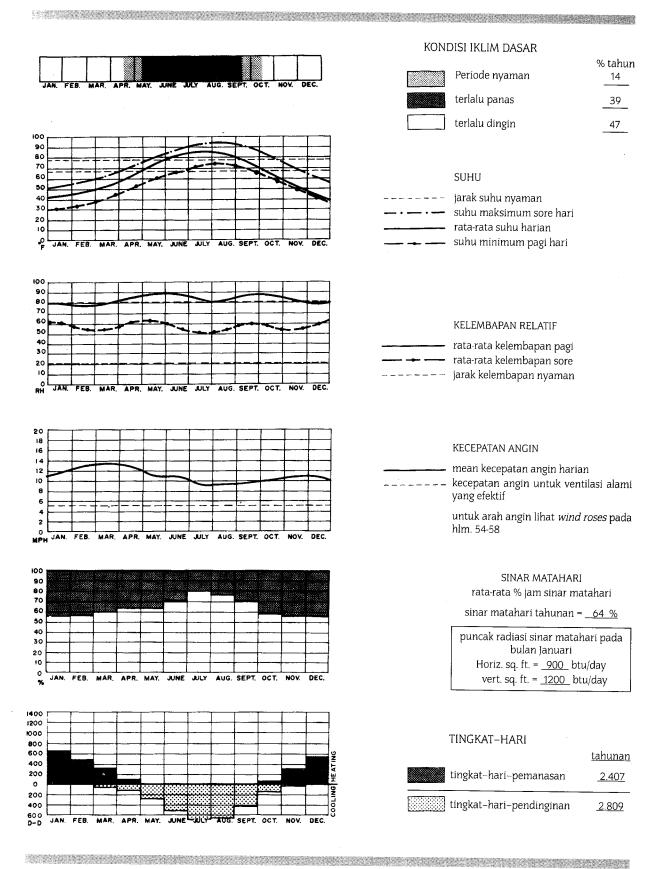
*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Gunakan ventilasi alami untuk pendinginan dalam musim semi dan musim gugur. (V)
2. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
3. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
4. Lindungi dari angin dingin musim dingin. (II)

Prioritas lebih rendah

5. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas. (VII)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR
% tahun
Periode nyaman 14
terlalu panas 39
terlalu dingin 47
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.
SUHU
jarak suhu nyaman
suhu maksimum sore hari
rata-rata suhu harian
suhu minimum pagi hari
°F
KELEMBAPAN RELATIF
rata-rata kelembapan pagi
rata-rata kelembapan sore
jarak kelembapan nyaman
RH
KECEPATAN ANGIN
mean kecepatan angin harian
kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif
untuk arah angin lihat wind roses pada hlm. 54-58
MPH
SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari
sinar matahari tahunan = 64 %
puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 900 btu/day
vert. sq. ft. = 1200 btu/day
%
TINGKAT-HARI
tahunan
tingkat-hari-pemanasan 2.407
tingkat-hari-pendinginan 2.809
HEATING
COOLING
D-D

IKLIM DAERAH 14

Kota Acuan: New Orleans, louisiana

Iklim

Daerah Gulf Coast merupakan daerah dingin, tetapi memiliki musim dingin pendek. Sebaliknya pada musim panas, udara panas, sangat lembap, dan panjang. Tanah datar yang lembap dan frekuensi hujan menyebabkan iklim yang sangat lembap. Di samping menyebabkan suhu yang tidak nyaman, kelembapan tinggi juga dapat menyebabkan masalah jamur. Banyak daerah menghadapi angin laut yang sangat kuat setiap hari, lemah pada malam hari, dan tenang sepanjang pagi dan sore ketika angin berubah arah.

Curah hujan tahunan agak tinggi yakni 60 inci, dan hal inilah sepertinya yang menjadikan keseragaman sepanjang tahun.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Beri ventilasi alami untuk baik dingin dan menghilangkan lembap di musim panas. (VI)
2. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
3. Hindarkan terjadinya tambahan kelembapan selama musim panas. (X)

Prioritas lebih rendah

4. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
5. Lindungi dari angin dingin musim dingin. (II)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi kelompok tipe bangunan *'envelope dominated'*. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas.

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR
% tahun
Periode nyaman 12
terlalu panas 52
terlalu dingin 36
JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.
SUHU
jarak suhu nyaman
suhu maksimum sore hari
rata-rata suhu harian
suhu minimum pagi hari
°F
KELEMBAPAN RELATIF
rata-rata kelembapan pagi
rata-rata kelembapan sore
jarak kelembapan nyaman
RH
KECEPATAN ANGIN
mean kecepatan angin harian
kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif
untuk arah angin lihat wind roses pada hlm. 54-58
MPH
SINAR MATAHARI
rata-rata % jam sinar matahari
sinar matahari tahunan = 59 %
puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 800 btu/day
vert. sq. ft. = 1250 btu/day
%
TINGKAT–HARI
tahunan
tingkat–hari–pemanasan 1.490
tingkat–hari–pendinginan 2.689
HEATING
COOLING
D–D

IKLIM DAERAH 15

Kota Acuan: Houston, Texas

Iklim

Bagian Gulf Coast ini sama dengan daerah 14, kecuali musim panasnya amat kuat. Suhu sangat tinggi dan tingkat kelembapannya membuat sangat tidak nyaman pada iklim musim panasnya. Kelembapan yang tinggi dan awan mencegah suhu turun banyak pada malam hari. Jadi, suhu siang hari rendah. Untungnya, frekuensi angin pantai ada pada musim panas.

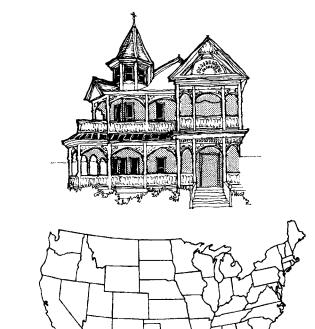
Musim dingin pendek dan nyaman. Banyaknya cahaya matahari menjadi pemasok utama kebutuhan pemanasan di musim dingin, namun yang paling mendapat perhatian bagi perancang adalah puncak yang sangat panas di musim panas.

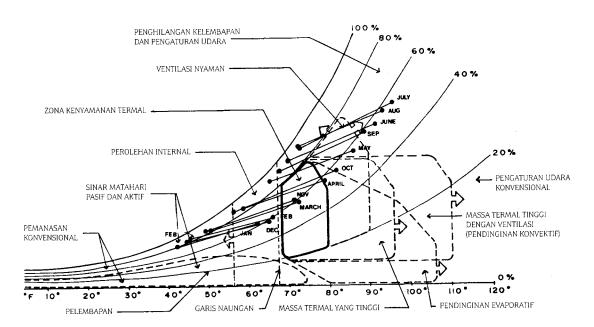
Curah hujan tahunan sekitar 45 inci dan agaknya menjadikan keseragaman sepanjang tahun.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Jaga suhu panas tetap di luar selama musim panas. (VIII)
2. Berikan ventilasi alami untuk pendinginan dan menghilangkan lembap. (VI)
3. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
4. Hindari terjadinya penambahan kelembapan di luar selama musim panas. (X)

Prioritas lebih rendah

5. Lindungi dari angin musim dingin yang dingin. (II)
6. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
7. Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin selama musim dingin. (I)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya di luar bagi tipe bangunan *'envelope dominated'*. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

JAN. FEB. MAR. APR. MAY. JUNE JULY AUG. SEPT. OCT. NOV. DEC.

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	11
	terlalu panas	54
	terlalu dingin	35

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 56 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 1050 btu/day
vert. sq. ft. = 1300 btu/day

TINGKAT–HARI

	tahunan
tingkat–hari–pemanasan	1.549
tingkat–hari–pendinginan	2.761

IKLIM DAERAH 16

Kota Acuan: Miami, Florida

Iklim

Iklim di selatan Florida memiliki musim panas yang panas dan lama serta tak ada musim dingin. Ketika suhu sedikit tinggi digabung dengan kelembapan tinggi, hasilnya adalah musim panas yang tidak nyaman. Bagaimanapun musim semi, musim gugur, musim panas, iklimnya cukup menyenangkan. Angin laut menambah kenyamanan sepanjang tahun.

Curah hujan tahunan agak tinggi sekitar 58 inci, dan banyak turun hujan selama bulan musim panas.

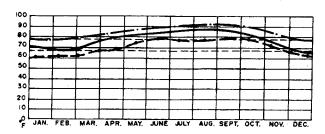
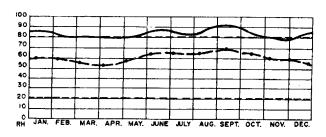
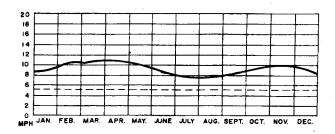
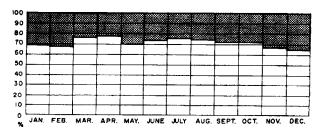
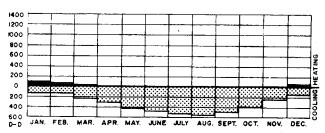
*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Buka bangunan lebar-lebar terhadap ruang luar karena suhu yang nyaman sepanjang tahun. (XI)
2. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
3. Buat ventilasi alami sebagai pendingin dan menghilangkan lembap yang berlebihan. (VI)
4. Hindari terjadinya penambahan kelembapan. (X)

Prioritas lebih rendah

5. Jaga suhu panas tetap di luar selama musim panas. (VIII)
6. Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin tetap di luar selama musim dingin. (I)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation.*

KONDISI IKLIM DASAR

	% tahun
Periode nyaman	20
terlalu panas	69
terlalu dingin	11

SUHU

- - - - - jarak suhu nyaman
—·—·— suhu maksimum sore hari
——— rata-rata suhu harian
—•— suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

——— rata-rata kelembapan pagi
—•— rata-rata kelembapan sore
- - - - - jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

——— mean kecepatan angin harian
- - - - - kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 72 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 1300 btu/day
vert. sq. ft. = 1450 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	199
tingkat-hari-pendinginan	4.095

IKLIM DAERAH 17

Kota Acuan: Los Angeles, CA

Iklim

Iklim dengan sedikit curah hujan di Selatan California sangat nyaman karena hampir selalu ada angin dingin dari laut. Meskipun angin pantai membawa kelembapan tinggi, kenyamanan tetap terjaga karena suhu yang rendah.

Kadang-kadang ketika angin berbalik, udara panas padang pasir masuk ke daerah itu. Karena udara ini kering, kenyamanan masih terjaga. Terdapat kenaikan suhu dan penurunan kelembapan ketika seseorang meninggalkan pantai. Jadi, ada variasi besar dalam iklim lokal.

Suhu musim dingin sangat sedang dan diperlukan sedikit pemanasan. Walaupun curah hujan tahunan sekitar 15 inci tidak berarti rendah, hujan kebanyakan turun dalam musim dingin. Karena hampir tidak ada hujan selama musim panas, beberapa tanaman dapat tumbuh sepanjang tahun tanpa irigasi. Karena sinar matahari penuh sepanjang tahun, panas matahari, khususnya buat air panas, sangat menguntungkan.

*Prioritas Rancangan Klimatik**

1. Buka bangunan lebar-lebar terhadap ruang luar karena suhu nyaman sepanjang tahun. (XI)
2. Lindungi dari matahari musim panas. (IV)
3. Biarkan matahari musim dingin masuk. (III)
4. Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas. (V)
5. Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas. (VII)

*Prioritas rancangan klimatik ini hanya bagi tipe bangunan '*envelope dominated*'. Lihat Subbab 5.7 untuk daftar khusus strategi yang cocok untuk mencapai hal di atas

Catatan: Untuk penjelasan Tabel Data Klimatik ini, lihat Subbab 5.6. Sebagian besar materi pada Tabel Data Klimatik berasal dari buku *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes* oleh *AIA Research Corporation*.

KONDISI IKLIM DASAR

		% tahun
	Periode nyaman	64
	terlalu panas	8
	terlalu dingin	28

SUHU

- jarak suhu nyaman
- suhu maksimum sore hari
- rata-rata suhu harian
- suhu minimum pagi hari

KELEMBAPAN RELATIF

- rata-rata kelembapan pagi
- rata-rata kelembapan sore
- jarak kelembapan nyaman

KECEPATAN ANGIN

- mean kecepatan angin harian
- kecepatan angin untuk ventilasi alami yang efektif

untuk arah angin lihat *wind roses* pada hlm. 54-58

SINAR MATAHARI

rata-rata % jam sinar matahari

sinar matahari tahunan = 73 %

puncak radiasi sinar matahari pada bulan Januari
Horiz. sq. ft. = 900 btu/day
vert. sq. ft. = 1200 btu/day

TINGKAT-HARI

	tahunan
tingkat-hari-pemanasan	1.204
tingkat-hari-pendinginan	1.339

5.7 STRATEGI PERANCANGAN

Strategi perancangan yang berhubungan dengan iklim ini merupakan jalan yang cocok untuk memperoleh prioritas rancangan yang ada dalam daftar Tabel Data Klimatik (di atas). Informasi lebih rinci bisa ditemukan dalam bab yang ditandai dengan tanda kurung.

Musim Dingin

I. *Jaga suhu panas di dalam dan suhu dingin tetap di luar selama musim dingin*

a. Hindari membangun di tanah miring bagian utara yang dingin. (Bab 11)

b. Bangunlah di tengah slopes untuk menghindari kumpulan udara dingin di bawah dan angin dahsyat di puncak gunung. (Bab 11)

c. Gunakan rancangan yang padat dengan perbandingan minimum antara luasan permukaan dan volume. Sebagai contoh, gunakanlah bangunan bertingkat dua daripada yang bertingkat satu. (Bab 15)

d. Bangunlah gedung berderet (*build attached*) atau bangunan cluster untuk meminimalkan dinding yang terekspos.

e. Gunakan perlindungan bumi dalam bentuk struktur bangunan bawah tanah atau struktur *berm* (*bermed structure*). (Bab 15)

f. Tempatkan ruang berongga yang memerlukan suhu rendah (kloset, gudang, tangga, garasi, ruang olahraga, ruangan untuk kerja berat, dan sebagainya) sepanjang dinding utara. Tempatkan ruang pembatas yang menerima matahari di sebelah dinding selatan. (Bab 7 dan 15)

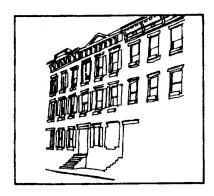
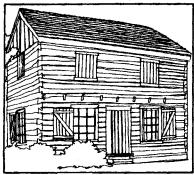
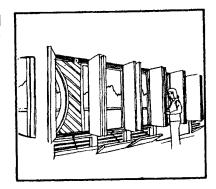
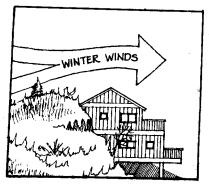
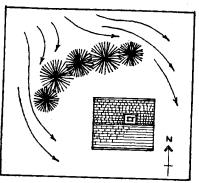
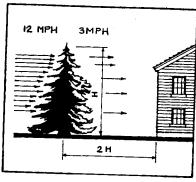
g. Gunakan pembagian daerah ruang untuk suhu dan waktu sebab beberapa ruangan dapat menyimpan dingin lebih baik daripada yang lain pada seluruh waktu atau pada waktu tertentu. Sebagai contoh, kamar tidur dapat mempunyai udara yang lebih dingin pada siang hari, dan kamar tamu pada malam hari ketika orang-orang tidur. (Bab 16)

h. Minimalkan luas jendela di seluruh orientasi, kecuali di sebelah selatan. (Bab 7 dan 15)

i. Gunakan kaca dua atau tiga lapis, *low-e coatings*, dan isolasi yang dapat bergerak pada jendela. (Bab 15)

j. Gunakan banyak isolasi pada dinding, atap, di ubin bawah, di atas *crawl spaces*, pada fondasi dinding, dan sekeliling tepi (*slab edges*). (Bab 15)

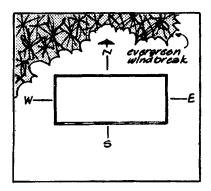
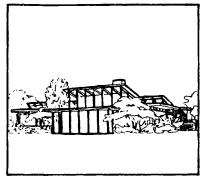
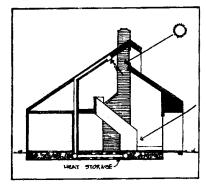
k. Isolasi hendaknya terus terlindung untuk mencegah rambatan panas. Hindari elemen struktur yang diekspose pada eksterior karena bisa menembus isolasi. Hindari perapian dan elemen batu yang kemungkinan dapat menembus lapisan isolasi. (Bab 15)

l. Tempatkan pintu tempat perapian untuk mencegah udara panas ruangan keluar melalui cerobong asap. Sediakan udara pembakar dari luar untuk membantu tempat perapian dan tungku. (Bab 16)

Gunakan bangunan yang saling menempel untuk mengurangi permukaan yang terekspos. Gunakan bangunan dengan bentuk yang padat dan denah berlantai dua. Gunakan dua atau tiga lapis kaca dengan isolasi yang dapat digerakkan. (Gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

Bangun gedung pada daerah yang terlindungi dari angin, seperti di samping sebuah bukit. Tanam atau bangun penghalang angin. Pohon *evergreen* (berdaun hijau sepanjang tahun) sangat efektif sebagai penghalang angin. (Gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

II. *Perlindungan dari angin dingin pada musim dingin.*

a. Hindari lokasi berangin, seperti di puncak perbukitan. (Bab 11)
b. Gunakan tanaman yang selalu hijau untuk memecah angin. (Bab 11)
c. Gunakan dinding kebun untuk melindungi bangunan dan khususnya pintu masuk dari terobosan angin dingin. (Bab 11)
d. Di area yang sangat berangin, jagalah bangunan tetap dekat tanah (satu lantai).
e. Gunakan rancangan yang padat untuk meminimalkan permukaan area yang terekspose angin. (Bab 15)
f. Gunakan bentuk *streamlined* dengan sudut melingkar untuk membelokkan angin dan meminimalkan perbandingan luasan permukaan terhadap volume.
g. Bangunan tipe *cluster* (berkelompok) digunakan untuk saling melindungi hembusan angin. (Bab 11)
h. Gunakan atap *sloping* yang panjang seperti terdapat di New England yang dinamakan rumah *"salt box"* untuk membelokkan angin yang melalui gedung dan untuk menciptakan perlindungan zona dari matahari.
i. Tempatkan garasi dan ruang utilitas lainnya pada sebelah angin musim dingin.
j. Gunakan perlindungan bumi dengan bangunan di bawah permukaan angin. Juga, angin dapat dibelokkan oleh bumi dibangun tahanan dinding, atau dengan membangun tepian bumi pada jarak yang pendek dari bangunan. (Bab 11, 15)
k. Minimalkan pembukaan, khusus sisi yang berhadapan dengan angin musim dingin, dan tempatkan jalan masuk utama pada sisi yang terlindungi.
l. Gunakan jendela antibadai, pintu tahan badai, pengunci udara, dan pintu putar untuk meminimalisasi gangguan. (Bab 15)
m. Tutup semua loteng dan crawl-spacevent (Lihat Bab 15 untuk pencegahan bahaya uap air dan gas radon).
n. Gunakan konstruksi yang kuat, rapat, dan berlapis penutup untuk meminimalkan infiltrasi. Gunakan yang berkualitas tinggi untuk jendela dan pintu yang dapat bergerak. (Bab 15)
o. Tempatkan halaman luar pada sisi selatan bangunan. (Bab 11)
p. Dalam musim dingin, jendela pada *free-standing garden walls* pun sebaiknya ditutup untuk melindungi daerah dalam dari angin dingin.
q. Di kota bersalju, gunakan penahan/antisalju dan layar angin untuk menjaga salju mengeblok jalan masuk dan jendela yang menghadap selatan.

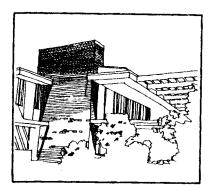
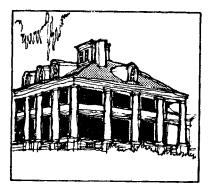
III. *Biarkan matahari musim dingin masuk (dicantumkan di Bab 7, kecuali ada catatan lain).*

a. Bangunlah *slopes* di sebelah selatan tenggara atau barat daya. (Bab 11)
b. Periksa jalan masuk sinar matahari yang mungkin dihalangi oleh bentuk daratan, tanaman, dan struktur bangunan yang dibuat manusia. (Bab 11)

Letakkan orientasi sisi panjang bangunan menghadap selatan. Hindari pepohonan atau struktur bangunan apa pun sepanjang sisi selatan. Letakkan sebagian besar jendela pada sisi selatan bangunan. Utamakan penggunaan lapisan kaca vertikal. Gunakan jendela clerestory pada sisi daerah selatan untuk lebih menarik sinar matahari memasuki ruang interior. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

c. Hindari pepohonan di sebelah selatan bangunan. (Bab 11)
d. Gunakan pepohonan musiman di sebelah tenggara dan barat daya.
e. Juga gunakan pepohonan musiman di sebelah timur dan barat jika musim dingin sangat panjang.
f. Bangunan dengan poros panjang hendaknya memanjang east-west.
g. Sebagian besar jendela harus menghadap ke selatan.
h. Gunakan *clerestory* menghadap ke selatan daripada *skylight*.
i. Tempatkan ruangan yang menguntungkan bila mendapat pemanasan oleh matahari disepanjang dinding selatan. Ruangan-yang paling tidak menguntungkan seharusnya di sepanjang dinding utara (misalnya gudang, garasi, dan lain-lain). (Bab 15)
j. Gunakan denah terbuka yang memungkinkan matahari dan kehangatannya untuk masuk bangunan.
k. Gunakan pemanasan langsung, dinding Trombe, dan ruang matahari untuk pemanasan dengan sinar matahari.
l. Gunakan udara hangat di interior untuk menyerap dan menyimpan radiasi matahari.
m. Gunakan patio warna terang, pelapisan jalan atau permukaan tanah untuk tambahan refleksi melalui jendela.
n. Gunakan reflektor yang memantul (aluminium yang mengkilat) untuk tambahan cahaya matahari masuk ke dalam jendela.
o. Gunakan penampung panas matahari aktif untuk air panas, pemanasan kolam renang, pemanasan ruangan, dan proses panas industri. (Bab 18)
p. Jika ada sedikit atau tanpa panas yang berlebihan dalam musim panas, gunakan warna gelap pada dinding luar.
q. Ciptakan panas, namun ruang luar yang terlindung angin pada sisi selatan bangunan. (Bab 11)

Musim Panas

IV. *Lindungi dari matahari musim panas (dibicarakan di Bab 9, kecuali ada catatan lain)*

a. Hindari bangunan pada slope sebelah timur dan terutama di barat. Slopes utara yang terbaik jika panas matahari tidak diperlukan dalam musim dingin, sementara slopes selatan merupakan yang terbaik jika panas matahari dibutuhkan dalam musim dingin. (Bab 11)
b. Gunakan tanaman untuk bayangan. Pohonan yang selalu hijau dapat digunakan di sisi timur, barat, dan utara bangunan. Tanaman semusim sangat sesuai untuk bayangan sebelah tenggara, barat daya, dan atap. Kecuali harus hati-hati meletakkannya, tanaman semusim sebelah selatan bangunan mungkin lebih merugikan dalam musim dingin daripada bagus dalam musim panas. Pengecualian

Letakkan orientasi sisi pendek bangunan menghadap timur dan barat, dan jika bisa hindari penggunaan jendela pada sisi fasade bangunan ini. Gunakan overhang, balkon, dan teras untuk meneduhi dinding maupun jendela. Gunakan atap dengan overhang lebar dan portico untuk meneduhi baik dinding maupun jendela. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

terjadi pada iklim sangat panas dengan musim dingin yang nyaman. (Bab 11)

c. Hindari warna terang pada permukaan tanah sekitar bangunan untuk meminimalkan refleksi cahaya masuk jendela, kecuali strategi pencahayaan alami sangat penting. Permukaan dengan tanaman hidup merupakan yang terbaik karena mereka tidak membuat udara panas sementara mereka menyerap radiasi matahari.

d. Buatlah bangunan yang berdekatan membayangi satu sama lain. Bangunan tinggi dengan jalan setapak di antaranya dapat bekerja sama. (Bab 11)

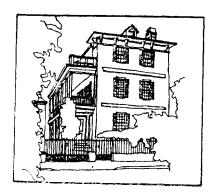
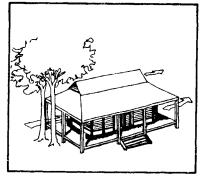
e. Hindari pantulan dari gedung yang berdinding putih dan glazing yang reflektif.

f. Bangunlah rumah bersambungan atau berkelompok (*cluster*) untuk meminimalkan jumlah dinding yang terekspose. (Bab 15)

g. Gunakan pohon tegak *(free standing)* atau dinding samping untuk meneduhi dinding timur, barat, dan utara.

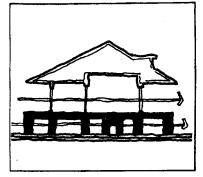
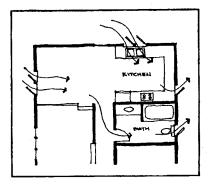
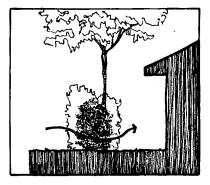
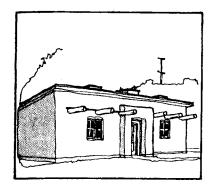
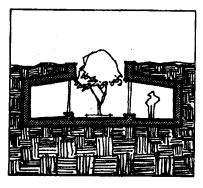
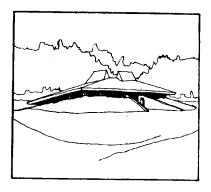
h. Gunakan bentuk bangunan untuk meneduhi diri sendiri (seperti lantai kantilever, balkon, halaman).

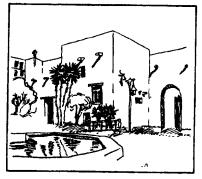
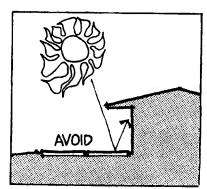
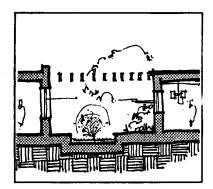
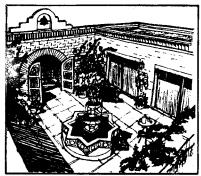
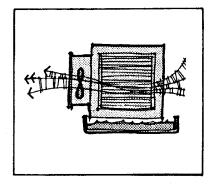
i. Hindari jendela di sisi timur, terutama sebelah barat jika semuanya memungkinkan. Minimalkan ukuran dan jumlah tiap jendela di timur dan barat yang diperlukan. Rancanglah jendela pada fasade timur dan barat sehingga muka bangunan menghadap arah utara atau selatan.

j. Gunakan hanya glazing vertikal. Setiap glazing horizontal atau miring (jendela di atap) seharusnya diberi peneduh di sisi luar selama musim panas. Hanya skylights tinggi pada atap sisi utara yang tidak memerlukan peneduhan dari luar.

Gunakan jendela besar tetapi dengan peneduh sebagai ventilasi. Gunakan bukaan setinggi plafon di ruangan yang tinggi. Gunakan bukaan besar untuk memberi ventilasi pada ruang atap. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

k. Gunakan perlengkapan peneduh eksterior pada semua jendela, kecuali jendela sebelah utara dalam iklim dingin.
l. Naungi bukan hanya jendela tetapi juga dinding-dinding timur, terutama dinding barat. Dalam iklim yang sangat panas, naungi juga dinding selatan.
m. Gunakan atap rangkap atau atap kedua atap rumah es dengan ruang di antara ventilasi yang bagus.
n. Gunakan ruangan luar yang ternaungi, misalnya serambi depan dan garasi, untuk melindungi sisi selatan, timur, dan khususnya fasade barat.
o. Gunakan perlengkapan naungan yang terbuka, bukan yang solid untuk mencegah tersebarnya udara panas di samping jendela.
p. Gunakan tanaman merambat di teralis untuk membuat naungan. (Bab 9 dan 11)
q. Gunakan perlengkapan naungan dapat bergerak yang dapat menyerap masuknya matahari musim dingin sepenuhnya.
r. Gunakan permukaan bangunan reflektif tinggi (putih adalah yang terbaik). Atap dan dinding sebelah barat adalah yang paling kritis.
s. Gunakan perlengkapan naungan bagian dalam jika naungan bagian luar tidak tersedia atau tidak cukup
t. Tempatkan halaman luar untuk dimanfaatkan pada musim panas, di sisi utara bangunan. Sebelah timur merupakan pilihan terbaik berikutnya. (Bab 11)

V. *Gunakan ventilasi alami sebagai pendingin musim panas (dibicarakan di Bab l0, kecuali ada catatan lain).*

a. Ventilasi malam yang digunakan untuk mendinginkan bangunan dalam persiapan hari berikutnya disebut sebagai pendinginan malam dan dijelaskan dalam prioritas VII di bawah.
b. Ventilasi alami yang memberi rasa dingin yang melewati udara sekitar kulit dinamakan ventilasi yang nyaman.
c. Tempatkan dan arahkan bangunan untuk menangkap angin yang umum. (Bab 10 dan 11)
d. Arahkan dan hubungkan angin menuju bangunan dengan memakai lanskap dan landform. (Bab 11)
e. Jaga jarak bangunan yang cukup jauh untuk memberikan akses penuh pada angin yang dibutuhkan. (Bab 11)
f. Dalam iklim yang lembut di mana musim dingin tidak terlalu dingin dan suhu musim panas tidak sangat tinggi, gunakan bentuk tidak padat untuk ventilasi silang yang maksimum.
g. Tinggikan ruang keluarga utama karena kecepatan angin meningkat sejalan dengan kenaikan tinggi dari tanah.
h. Gunakan langit-langit tinggi, ruang dua tingkat, dan ruangan tangga untuk pergerakan udara vertikal dan untuk keuntungan stratifikasi.

Naikkan bangunan ke atas tanah yang berembun dan berikan ventilasi pada ruang bawah bangunan. Gunakan ventilasi alami untuk menghilangkan lembap dari dapur, kamar mandi, dan ruang cuci baju. Hindari rancangan lanskap yang padat dekat area lantai dasar. Namun, kanopi tinggi pepohonan adalah bagus. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

Gunakan massa termal untuk mengurangi dampak suhu tinggi. Gunakan massa termal bumi. Gunakan *berm* atau lahan miring agar bangunan terlindungi oleh tanah (*earth sheltered buildings*). (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

i. Lengkapilah ventilasi silang dengan menggunakan jendela besar pada arah datangnya dan arah lawan datangnya angin dari sisi bangunan.
j. Gunakan sirip dinding *(fin walls)* untuk mengarahkan udara masuk melewati jendela.
k. Gunakan kombinasi tinggi dan rendah bukaan untuk memperoleh keuntungan efek stack *(stack effect)*.
l. Gunakan bukaan pada atap untuk ventilasi, baik untuk loteng maupun seluruh bangunan. Gunakan bukaan, seperti monitor, cupolas, kubah, jendela atap, menara bubungan, dan ventilasi ujung atap rumah.
m. Gunakan serambi untuk memperoleh dingin ruang luar dan untuk melindungi jendela dari matahari dan hujan.
n. Gunakan atap ganda dan parasol atap dengan jarak cukup untuk membiarkan angin menukar udara panas di antara dua atap. (Bab 9)
o. Gunakan jendela berkualitas tinggi dengan seal rapat untuk memberikan ventilasi musim panas sambil mencegah adanya infiltrasi musim dingin. (Bab 15)
p. Gunakan rencana denah lantai yang terbuka agar arus udara maksimum. Minimalkan penggunaan banyak sekatan dalam pembagian ruangan.
q. Pertahankan jendela kecil di atas pintu dan banyak pintu terbuka di antara ruangan.
r. Gunakan cerobong asap sinar matahari untuk menggerakkan udara secara vertikal melalui bangunan pada hari tenang.
s. Gunakan jendela yang dapat bergerak atau panel di kebun yang dapat bergerak untuk memaksimalkan ventilasi musim panas di lokasi sambil memberikan proteksi melawan angin musim dingin.

Gunakan bangunan yang rapat, terisolasi dengan baik, dan dicat putih. Gunakan perumahan dengan bangunan saling menempel untuk memperkecil luasan permukaan yang terekspos. Buat agar bangunan saling meneduhi satu sama lain. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

Gunakan air mancur, kolam, dan tanaman untuk pendinginan dengan penguapan. Gunakan *courtyard* untuk menghindari hilangnya udara dingin. Gunakan pendingin dengan penguapan yang hemat energi. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

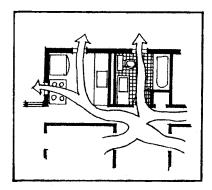
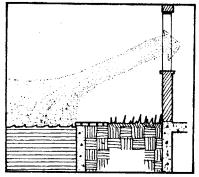
VI. *Berikan ventilasi alami untuk mendinginkan dan menghilangkan uap lembap yang berlebihan selama musim panas (dibicarakan di Bab 10, kecuali ada catatan lain).*

a. Semua pemikiran dari prioritas V di atas juga diterapkan di sini.
b. Naikkan lantai ruang utama di atas ketinggian kelembapan yang dekat permukaan tanah.
c. Gunakan pepohonan yang tersebar. Minimalkan pohon dan semak yang menutupi permukaan tanah untuk memungkinkan peredaran udara melalui lokasi untuk menghilangkan uap lembap. Gunakan tanaman yang hanya memiliki kanopi (lebar daun) yang tinggi. (Bab 11)
d. Hindari ruang bawah tanah yang dalam yang tidak dapat diberi ventilasi dengan baik.

VII. *Gunakan massa termal untuk meratakan perubahan suhu harian di musim panas (dibicarakan di Bab 10, kecuali ada catatan lain).*

a. Strategi pendinginan ini juga dikenal sebagai "pendinginan malam yang tepat" sebab udara panas biasanya menjadi dingin melalui ventilasi malam. Lihat Bab 10 untuk deskripsi dalam strategi ini.
b. Gunakan bahan konstruksi yang masif sebab bangunan itu memiliki kapasitas panas tinggi. Gunakan bahan bangunan seperti bata, beton, batu, dan batako. (Bab 15)
c. Letakkan isolasi di sisi luar massa termal. (Bab 15)
d. Jika bahan masif digunakan pada sisi luar, lapiskan isolasi antara dinding dalam dan dinding luar. (Bab 15)
e. Gunakan tanah atau batu dalam kontak langsung dengan dinding yang tidak diisolasi. (Bab 10 dan 15)
f. Jaga udara panas siang hari tetap di luar dengan menutup semua bukaan.
g. Buka bangunan pada malam hari sehingga memungkinkan udara dingin masuk. Gunakan strategi ventilasi alami, dicantumkan prioritas V di atas, untuk memaksimal pendinginan malam dari massa termal.
h. Gunakan air sebagai massa termal sebab mempunyai kapasitas panas yang tinggi. Gunakan tempat/wadah maksimum yang mentransfer/memindahkan panas ke dalam atau ke luar air. (Bab 7)
i. Gunakan pancaran atau pendinginan uap untuk menambahkan suhu turun dalam massa termal pada malam hari.
j. Gunakan tabung bumi atau tanah sebagai pemompa panas udara tanah untuk memperoleh hawa dingin dari tanah. (Bab 10 dan 16)

VIII. *Jaga suhu panas tetap di luar selama musim panas*

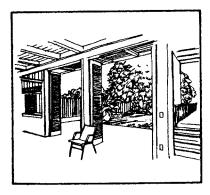
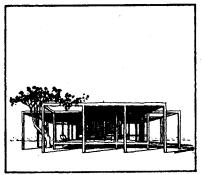
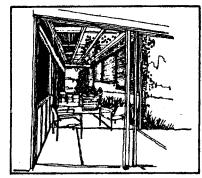
a. Gunakan rancangan yang rapat untuk meminimalkan *surface-areavolume ratio.* (Bab 15)
b. Bangunlah deretan rumah untuk meminimalkan jumlah dinding yang akan terekspose. (Bab 11 dan 15)
c. Gunakan tanaman dan struktur bayangan untuk mengendalikan suhu dingin sekeliling udara seputar bangunan, dan untuk mencegah pantulan sinar matahari masuk ke dalam jendela. (Bab 11)

Gunakan *exhaust fan* untuk menghilangkan kelembapan yang berlebihan di dapur, kamar mandi, dan ruang cuci baju. Kurangi tanaman ruang dalam dan hindarkan dari pancaran sinar matahari langsung untuk mengurangi penguapan. Hindari kolam, air mancur, dan tanaman pada rancangan lanskap. Kurangi partisi interior dan manfaatkan bukaan yang banyak pada dinding eksterior. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

d. Gunakan earth sheltering dalam bentuk di bawah tanah atau struktur balok. (*bermed structures*). (Bab 15)
e. Gunakan isolasi pada pembungkus bangunan. (Bab 15)
f. Gunakan jendela sedikit dan kecil untuk menjaga panas tetap di luar.
g. Gunakan penutup jendela eksterior atau interior. Dalam iklim panas, gunakan glazing ganda dan dalam cuaca yang sangat panas juga gunakan penutup jendela isolasi yang dapat bergerak selama siang ketika ruangan kosong. (Bab 15)
h. Isolasilah sumber panas di ruangan terpisah, di samping, atau bangunan.
i. Buatlah zona bangunan sehingga hanya ruangan tertentu yang didinginkan jika sedang dipakai. (Bab 16)
j. Gunakan warna terang pada atap dan dinding sebagai pemantul panas matahari.

IX. *Gunakan pendinginan evaporative selama musim panas (dibicarakan di Bab 10, kecuali ada catatan lain)*

a. Tempatkan kolam renang atau air mancur dalam bangunan, halaman, atau pada jalan tempat masuknya angin.
b. Gunakan pancuran dengan pepohonan untuk menimbulkan udara dingin, baik di dalam maupun di luar ruangan.
c. Semprotlah atap, dinding-dinding, dan serambi (patio) untuk mendinginkan permukaannya.
d. Lewatkan masuknya udara melalui tirai air atau bahan yang basah.
e. Gunakan kolam atap atau sistem pendinginan uap tak langsung.
f. Gunakan "pendingin dengan penguapan". Alat mekanikal sederhana dan murah ini hanya menggunakan tenaga listrik yang sangat kecil.

X. *Hindari terjadinya tambahan kelembapan selama musim panas.*

a. Jangan menggunakan strategi pendinginan uap dalam iklim yang khusus di prioritas IX.
b. Gunakan pengairan bawah tanah atau yang menetes daripada dengan penyemprotan.
c. Hindari kolam renang dan air mancur.
d. Jaga agar area sekeliling bangunan kering dengan drainase air yang baik. Jauhkan air dari atap atau dari lantai halaman luar langsung dibuang menjauhi lokasi.
e. Gunakan bahan berlapis penyerap untuk mencegah genangan air di atas permukaan.
f. Minimalkan tanaman, terutama di dalam bangunan. Gunakan tanaman yang sedikit menambah air pada udara dengan transpirasi. Tanaman seperti itu biasanya ditanam penduduk beriklim kering.
g. Teduhi pepohonan dan kolam air baik di dalam maupun di luar sebab panas matahari meningkatkan kecepatan transpirasi dan penguapan.
h. Gunakan penguapan di dapur, kamar mandi,

Gunakan dinding panel yang dapat bergerak dan diatur. Buatlah ruang luar yang terlindungi dengan arah orientasi bervariasi sebagai ruang luar yang dapat digunakan sepanjang hari dan tahun. (Gambar-gambar diambil dari *Regional Guidelines for Building Passive Energy Homes oleh AIA Research Corporation*)

ruang cuci, dan lain-lain untuk menghilangkan kelembapan yang berlebihan.

XI. *Bukalah bangunan lebar-lebar ke ruang luar karena suhu nyaman sepanjang tahun.*

a. Ciptakan ruang luar dengan orientasi berbeda yang digunakan dalam waktu berbeda dalam setahun. Contoh, gunakan ruang luar di sisi selatan pada musim dingin dan sebelah utara pada musim panas.
b. Ciptakan area tempat tinggal di luar yang dilindungi dari panas matahari musim panas dan angin dingin musim dingin.
c. Gunakan rancangan bangunan tidak padat untuk kontak maksimum dengan bagian luar. Gunakan jajaran bangunan dengan banyak perluasan atau sayap untuk membangun ruang luar.
d. Gunakan area yang luas untuk jendela, pintu, dan bahkan dinding yang bisa bergerak untuk meningkatkan kontak dengan bagian luar.
e. Buatlah bangunan mirip paviliun yang memiliki sedikit partisi pada interiornya dan minimalkan dinding eksterior.

IDE POKOK BAB 5

1. Karena uap air dan awan di musim panas dan lembap, suhu harian lebih rendah dan suhu malam hari lebih tinggi. Dengan demikian, pergantian suhu sepanjang harinya kecil.
2. Karena kurangnya kadar air di udara, iklim panas dan kering memiliki suhu siang hari yang tinggi dan suhu malam hari yang rendah. Dengan demikian, jangkauan suhu setiap harinya besar.
3. Karena elemen seperti ketinggian, bentuk tanah, badan air yang luas, tipe tanah, tanaman, serta objek buatan manusia, iklim mikro dapat menjadi sangat berbeda daripada iklim regional.
4. Arah angin dikendalikan oleh *wind rose*.
5. Grafik psikrometrik-bioklimatik (*psychrometric-bioclimatic*) merupakan alat yang bagus untuk lebih memahami iklim jika dilihat dari suhu dan *coincident relative humidities* (CRH).
6. Grafik sinar matahari mengindikasikan pentingnya pencahayaan langsung sinar matahari untuk pemanasan dengan tenaga matahari serta pencahayaan alami bagi tiap wilayah iklim.
7. Grafik degree-days merupakan alat yang bagus sekali untuk menentukan kedalaman dan kekuatan (panas dan muatan dingin) dari musim dingin dan musim panas.
8. Prioritas perancangan telah diberikan pada tiap ketujuh belas wilayah iklim secara terperinci di bab ini. Strategi atau teknik perancangan untuk menentukan prioritas telah diberikan pada akhir bab.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian besar bahan dari bab ini telah diambil dari buku:
Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes oleh AIA Research Corporation.

SUMBER

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

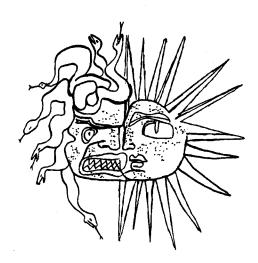
(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

AIA Research Corp. *Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving Homes.*
ASHRAE Handbook. Fundamentals.
Climatic Atlas of the United States.
Compatative Climatic Data for the United States.
Fitch, J. M., with W. Bobenhausen. *American Building: The Environmental Forces That Shape It.*
National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Climate Atlas of U.S.*
Olgyay, V. *Design with Climate.*
Ruffner, J. A., and F. E. Bair. *The Weather Almanac.*
Stein, B., and J. Reynolds. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings,* Ninth Edition.
Watson, D., and K. Labs. *Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices*

BAB 6

ILMU UKUR MATAHARI

"Misi arsitektur modern adalah lebih memfokuskan arsitekturnya pada matahari."

Le Corbusier
dikutip dari surat untuk Sert

Gambar. 6.1 Matahari terkadang menjadi teman dan terkadang pada saat waktu tertentu bisa menjadi musuh (Gbr. oleh *Le Corbusier* dari *Le Corbusier: Avre Complete,* 1938-1944, *Vol.* 4. oleh W. Boesiger, edisi ke-7. *Verlag fuer Architektur Artemis* © 1977.)

6.1 PENGANTAR

Orang dahulu memuja matahari sebagai dewa; mereka memahami betapa besar kehidupan bergantung pada sinar matahari. Namun, dengan cepatnya pertumbuhan ilmu pengetahuan dan teknologi, umat manusia berpaling pada kepercayaan bahwa semua masalah bisa dipecahkan oleh teknologi tinggi dan tidak lagi diperlukan untuk kehidupan yang selaras dengan alam. Salah satu contoh dalam bidang arsitektur adalah penggunaan area kaca yang sangat besar dalam konstruksi bangunan di daerah padang pasir, di mana habitat hunian hanya dapat dijaga dengan pertolongan energi sangat besar untuk proses pengaturan suhu.

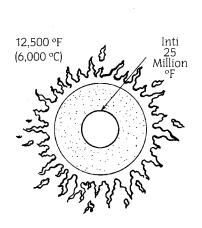
Krisis dan kekecewaan telah memaksa kita untuk kembali memerhatikan hubungan kita dengan alam dan teknologi. Ada suatu hukuman dan ketergantungan, di mana kemajuan akan datang dari teknologi yang selaras dengan alam. Pertumbuhan minat akan perancangan yang berkelanjutan atau desain hijau *(green design)* menggambarkan pergeseran dalam sikap ini. Di dalam arsitektur, segi pandangan ini diwakili dengan bangunan yang membiarkan cahaya matahari masuk sepanjang musim dingin dan menaungi sinar matahari yang masuk di musim panas. (Gbr. 6.1)

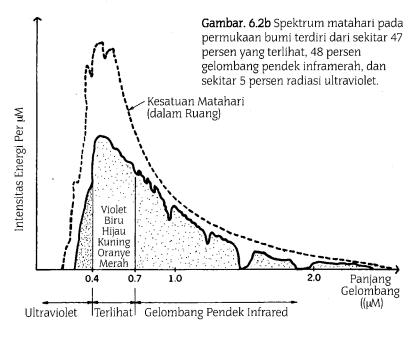
Pendekatan dalam arsitektur memerlukan suatu pemahaman yang baik dari perancang mengenai lingkungan yang alami. Inti pemahaman adalah hubungan antara matahari dengan bumi. Bab ini membahas hubungan radiasi matahari dan dampaknya terhadap musim.

6.2 MATAHARI

Matahari merupakan suatu reaktor fusi yang sangat besar di mana atom ringan menyatu ke dalam atom yang lebih berat, dan dalam prosesnya terjadi pelepasan energi. Reaksi ini hanya terjadi di bagian inti matahari yang membutuhkan suhu sebesar 25,000,000 °F. Radiasi matahari akan mencapai bumi, di mana cahaya yang dipancarkan berasal dari permukaan matahari, yang suhunya jauh lebih dingin (Gbr. 6.2a). Dengan demikian, radiasi matahari merupakan tipe radiasi di mana sebuah badan dengan suhu 12.500 °F akan memancar. Jumlah dan komposisi radiasi matahari yang mencapai permukaan atmosfir bumi tidak banyak mengalami perubahan dan disebut sebagai **radiasi matahari yang konstan** (***solar constant***). Akan tetapi, jumlah dan komposisi dari radiasi mencapai permukaan bumi sangat bervariasi yang dipe-ngaruhi oleh sudut cahaya datang matahari dan komposisi atmosfir (Gbr.6.2b).

6.3 LINTASAN ORBIT ELIPS

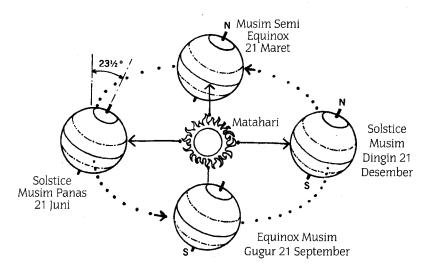
Orbit (garis edar bumi) tidak berbentuk lingkaran, tetapi elips

Gambar. 6.2a Suhu permukaan matahari menentukan jenis radiasi yang akan dipancarkan.

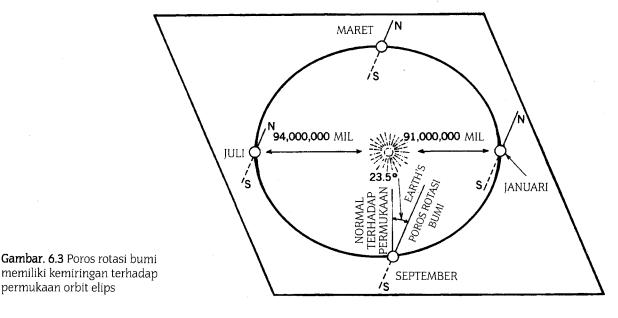
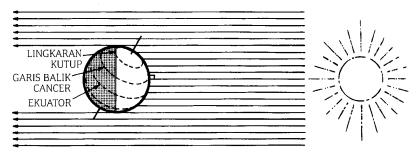
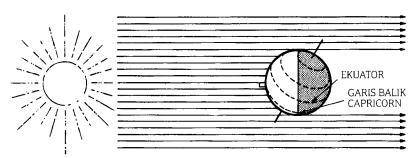
Gambar. 6.2b Spektrum matahari pada permukaan bumi terdiri dari sekitar 47 persen yang terlihat, 48 persen gelombang pendek inframerah, dan sekitar 5 persen radiasi ultraviolet.

sehingga jarak antara bumi dan matahari bervariasi seiring dengan perputaran bumi mengelilingi matahari (Gbr.6.3). Jarak ini bervariasi sekitar 3,3 persen dan hal inilah yang mengakibatkan terjadinya perubahan kecil pada intensitas radiasi matahari yang diterima setiap tahunnya.

Apakah ini dapat menjelaskan mengapa pada bulan Januari lebih dingin dibanding pada bulan Juli? Tidak, sebab sebenarnya kita lebih dekat dengan matahari pada bulan Januari dibanding Juli. Sesungguhnya, perbedaan jarak dari matahari sedikit mengurangi kekejaman musim dingin di belahan bumi bagian utara. Lalu apa yang kemudian menjadi penyebab terjadinya musim?

Karena letak matahari sangat jauh dan karena posisinya berada pada permukaan orbit bumi, radiasi matahari yang mencapai bumi selalu paralel dengan permukaan ini (Gbr.6.3). Ketika bumi berputar mengelilingi matahari, pada saat itu bumi berputar pada poros utara-selatannya. Karena posisi poros ini tidak tegak lurus pada bidang orbit, tetapi memiliki sudut sebesar 23,5 derajat dari sudut normal terhadap bidang ini, dan karena orientasi ruang poros rotasi ini tetap selama bumi berputar mengelilingi matahari, sudut datang sinar matahari yang mencapai permukaan bumi selalu berubah sepanjang tahun. Kemiringan 23,5 derajat ini merupakan penyebab terjadinya musim dan memberikan implikasi utama pada energi matahari.

6.4 KEMIRINGAN POROS BUMI

Karena kemiringan poros-bumi tetap, belahan bumi utara akan menghadap matahari pada bulan Juni dan belahan bumi selatan akan menghadap matahari pada bulan Desember (Gbr.6.4a). Kondisi-kondisi yang ekstrem akan terjadi pada tanggal 21 Juni ketika kutub utara berada paling dekat ke arah matahari dan pada tang-

Gambar. 6.4a Musim merupakan akibat kemiringan sumbu rotasi bumi (dikutip dari buku *Solar Dwelling Design Concept"oleh AIA Research Coorporation US Department Housing and Urban Development, 1976, HUD-PDR 154 (4))*

Gambar. 6.3 Poros rotasi bumi memiliki kemiringan terhadap permukaan orbit elips

Gambar. 6.4b Selama solstice musim panas (21 Juni), matahari berada tepat di atas lingkar *Tropic of Cancer.*

Gambar. 6.4c Selama solstice musim dingin (Desember 21), matahari berada tepat di atas lingkar *Tropic of Capricorn.*

gal 21 Desember di mana kutub utara berada pada posisi terjauh dari matahari.

Sebagai catatan pada tanggal 21 Juni, seluruh sisi bumi bagian utara Lingkaran Kutub Utara akan menerima cahaya matahari selama dua puluh empat jam (Gbr.6.4b). Ini merupakan hari terpanjang pada belahan bumi bagian utara dan disebut sebagai [1]***solstice* musim panas**. Pada hari itu juga, sudut datang cahaya matahari akan jatuh tegak lurus pada permukaan bumi di sepanjang Garis Balik Cancer, bukan merupakan hal yang kebetulan, pada garis lintang 23.5°LU. Tiada sisi bumi bagian utara dari Garis Balik Cancer yang pernah mempunyai matahari yang langsung berada persis di atas kepala.

Enam bulan kemudian pada tanggal 21 Desember, pada posisi akhir dari orbit bumi di sekitar matahari, kutub utara merupakan sisi terjauh dari matahari sehingga saat ini seluruh bagian bumi yang berada di atas Lingkaran Kutub Utara mengalami dua puluh empat jam gelap (Gbr.6.4c). Pada belahan bumi utara, ini merupakan hari dengan malam terpanjang dan dikenal sebagai ***solstice* musim dingin**. Pada hari ini, matahari berada pada posisi tegak lurus dengan belahan bumi selatan di sepanjang Garis Balik Capricorn, yaitu pada 23,5°LS. Sementara itu, sinar matahari yang jatuh pada musim gugur di belahan bumi utara datang dengan sudut yang lebih rendah (sudut altitude lihat ilustrasi di bawah) dibandingkan cahaya yang datang pada belahan bumi selatan.

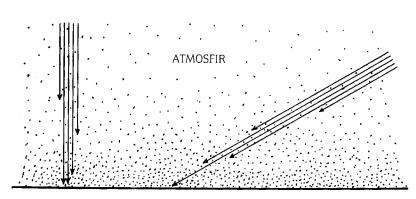
Di tengah antara hari terpanjang dan terpendek setiap tahunnya terdapat hari dengan panjang jam malam dan siang yang sama. Situasi ini terjadi dua kali dalam satu tahun, yaitu pada tanggal 21 September dan 21 Maret, dan dikenal sebagai ***equinox*** musim semi dan musim gugur (Gbr.6.4a). Pada hari ini matahari berada tepat di atas garis khatulistiwa.

6.5 KONSEKUENSI SUDUT *ALTITUDE*

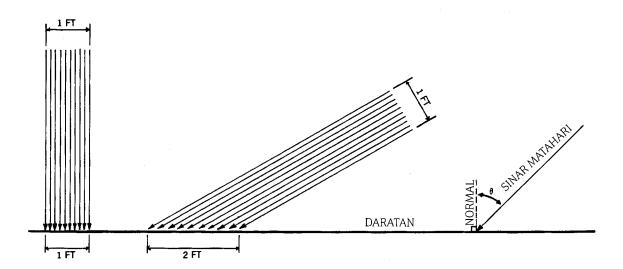
Sudut vertikal di mana sinar matahari menyentuh bumi disebut sebagai **sudut *altitudee* (*Altitude Angle*)** dan merupakan sebuah hasil perhitungan fungsi lintang geografis, waktu tahunan, dan waktu harian. Pada Gambar. 6.5a kita dapat melihat bagaimana altitude diperoleh dari ketiga faktor ini. Situasi yang paling sederhana terjadi pada saat equinox pada jam 12 siang ketika sinar matahari jatuh tegak lurus pada garis khatulistiwa bumi (Gb.6.5a). Untuk menemukan sudut *altitude* matahari pada suatu garis lintang, tarik garis pada permukaan bumi yang menyentuh titik garis lintang yang telah ditentukan. Dengan prinsip geometris sederhana, dapat dihitung bahwa sudut *altitude* sama dengan 90 derajat dikurangi posisi garis lintang. Sudut *altitude* berpengaruh pada dua hal penting, yaitu akan memengaruhi iklim dan musim.

Dampak pertama dari sudut *altitude* digambarkan pada Gambar. 6.5b yang ditunjukkan bahwa pada posisi sudut yang rendah sinar matahari akan menerobos atmosfir lebih banyak. Pengaruhnya, radiasi yang mencapai permukaan akan lebih rendah dan

LINGKARAN KUTUB 66.5
GARIS BALIK CANCER 23.5
EKUATOR 0
GARIS BALIK CAPRICORN 23.5
LINGKARAN ANTARTIKA 66.5
N 90
90 S
L
A = 90°-L
GROUND PLANE

Gambar. 6.5a Pada saat equinox, sudut altitude matahari (A) pada saat matahari sore di semua permukaan bumi sama dengan 90º dikurangi sudut Latitude (L).

Gambar. 6.5b Sudut altitude menentukan seberapa besar radiasi matahari akan diserap oleh atmosfer.

komposisinya lebih termodifikasi. Kasus yang lebih ekstrem terjadi pada saat matahari terbenam di mana radiasi berwarna merah dan cukup lemah untuk dilihat. Hal ini terjadi karena penyerapan selektif, pemantulan, dan pembiasan radiasi matahari di atmosfir.

Dampak kedua dari sudut *altitude* digambarkan pada diagram **Hukum Consine (*the Consine Law*)** (Gb.6.5c). Hukum ini mengatakan bahwa berkas cahaya matahari akan menerangi suatu area lebih besar jika posisi matahari di langit lebih rendah. Ketika sinar matahari menyebar pada area lebih besar, cahaya matahari pada tiap squarefoot daratan secara alami menjadi lebih lemah. Jumlah cahaya matahari yang diterima oleh suatu permukaan berubah berdasarkan kosinus dari sudut antara cahaya matahari dari garis normal permukaan.

Gambar. 6.5c Hukum Cosine mengatakan bahwa jumlah radiasi yang diterima oleh suatu permukaan berkurang seiring dengan pertambahan sudut normal.

6.6 MUSIM DINGIN

Sekarang kita dapat memahami apa yang menjadi penyebab musim dingin. Suhu pada udara, seperti halnya pada daratan, sebagian besar merupakan hasil dari jumlah radiasi matahari yang diserap oleh daratan. Udara terutama akan dipanaskan atau didinginkan oleh adanya kontak dengan bumi. Alasan mengapa radiasi matahari yang jatuh pada daratan lebih sedikit pada musim dingin adalah sebagai berikut.

Hal paling utama adalah fakta bahwa waktu siang hari pada musim dingin jauh lebih pendek. Jumlah yang akurat merupakan fungsi garis lintang. Seperti disebutkan sebelumnya, pada tanggal 21 Desember tidak ada cahaya matahari pada lingkaran kutub utara, dan pada garis lintang 40 derajat, sebagai contoh, panjangnya siang hari enam jam lebih pendek pada tanggal 21 Desember dibanding pada tanggal 21 Juni.

Alasan yang kedua atas berkurangnya pemanasan bumi pada musim dingin adalah Hukum Cosine (*Cocine Law*). Pada tanggal 21 Desember, jumlah radiasi matahari yang jatuh pada setiap ft^2 lebih kecil dibanding pada tanggal 21 Juni.

Terakhir, sudut matahari yang lebih rendah menambah jumlah atmosfir yang harus diterobos oleh matahari. Oleh karena itu, jumlah radiasi yang mencapai setiap ft^2 dataran menjadi lebih kecil.

6.7 MATAHARI BERPUTAR MENGELILINGI BUMI

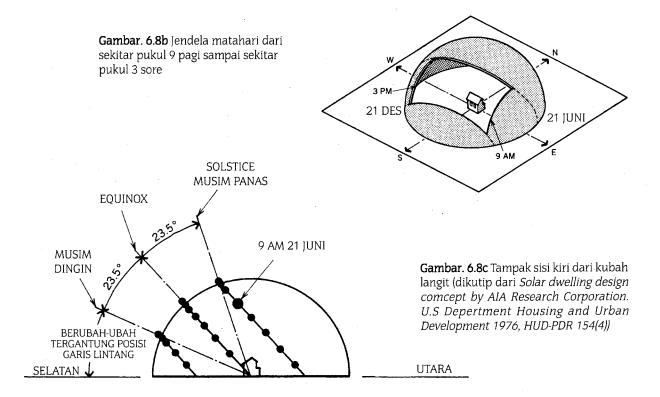
Di samping ancaman kematian dan siksaan, Galileo dan Copernicus bicara dan meyakinkan dunia bahwa bumi berputar mengelilingi matahari. Meskipun demikian, saya ingin menyarankan, untuk pertimbangan nonreligius, agar kita berasumsi lagi bahwa matahari berputar mengelilingi bumi atau setidaknya matahari berputar mengelilingi bangunan yang menjadi pembahasan permasalahan. Pada saat ini, asumsi ini akan menghilangkan batasan sehingga untuk memahami sudut matahari akan lebih menyenangkan. Untuk membuat hal ini menjadi lebih menyenangkan, mari kita juga mengasumsikan suatu kubah langit (lihat di bawah), di mana suatu plastik bening yang besar ditempatkan di atas lokasi bangunan yang sedang dipermasalahkan.

Gambar. 6.8a Kubah langit dan tiga jalur matahari (dikutip dari *Architectural Graphic Standards, Ramsey/ Sleeper 8th ed. John R. Hoke, ed. Copyright John Wiley 1988*).

6.8 KUBAH LANGIT

Pada Gambar.6.8a kita melihat suatu kubah langit khayal yang ditempatkan di atas lokasi bangunan. Setiap titik jam di saat sinar matahari menembus, kubah langit ditandai. Ketika semua titik untuk satu hari dihubungkan, kita mendapatkan suatu garis yang disebut sebagai **jalur matahari (*sun path*)** untuk hari itu. Gambar.6.8a menunjukkan jalur matahari paling tinggi setiap tahunnya (*solstice* musim panas), jalur matahari paling rendah (*solstice* musim dingin), dan jalur matahari pertengahan (*equinox*). Catat bahwa matahari masuk kubah langit hanya antara jalur matahari pada titik balik solstice musim panas dan musim dingin. Karena radiasi matahari sangat lemah pada awal dan akhir hari, bagian dari kubah langit yang paling bermanfaat untuk masuknya sinar matahari disebut sebagai **jendela matahari (*solar window*)**. Gambar. 6.8b menunjukkan jendela matahari yang konvensional, yang diasumsikan mulai dari pukul 9:00 pagi dan

Gambar. 6.8b Jendela matahari dari sekitar pukul 9 pagi sampai sekitar pukul 3 sore

Gambar. 6.8c Tampak sisi kiri dari kubah langit (dikutip dari *Solar dwelling design comcept by AIA Research Corporation. U.S Depertment Housing and Urban Development 1976, HUD-PDR 154(4))*

berakhir pada pukul 3:00 sore. Idealnya, tidak ada pohon, bangunan, atau penghalang lain yang menghalangi masuknya sinar matahari melalui jendela matahari selama bulan itu ketika energi matahari dibutuhkan. Ruang pemanasan hanya memerlukan akses matahari sepanjang musim dingin (porsi jendela matahari yang lebih rendah), sedangkan untuk pemanasan air panas domestik diperlukan akses matahari sepanjang tahun (jendela matahari penuh).

Elivasi timur dari kubah langit digambarkan pada Gambar.6.8c. Jalur matahari pada titik balik matahari musim panas *(summer solstice)* (21 Juni), equinox (21 Maret dan 21 September), dan titik balik matahari musim dingin *(winter solstice)* (21 Desember) ditunjukkan dalam tampak samping. Jalur matahari sore hari berada tepat di belakang jalur matahari pagi hari. Pada diagram tersebut tanda untuk pukul 3:00 sore berada tepat di belakang tanda untuk pukul 9:00 pagi. Gerakan matahari sepenuhnya simetris pada poros utara selatan. Perhatikan pada diagram bahwa matahari bergerak 23.5 derajat pada masing-masing sisi equinox karena kemiringan poros rotasi bumi. Total sudut perjalanan vertikal antara musim dingin dan musim panas adalah 47 derajat. Namun, altitude yang tepat tergantung pada posisi garis lintang.

6.9 MENENTUKAN *ALTITUDE* DAN SUDUT AZIMUT

Cara yang paling mudah untuk bekerja dengan gabungan sudut sinar matahari adalah dengan menggunakan komponen sudut. Komponen paling berguna adalah altitude, yang diukur dalam posisi vertikal, dan **sudut azimut**, yang diukur pada posisi horizontal.

Pada Gambar.6.9a kita melihat sinar matahari memasuki kubah langit pada pukul 2:00 siang di atas equinox. Proyeksi horizontal dari sinar matahari ini berada pada posisi mendatar. Sudut vertikal dari proyeksi sinar matahari ini disebut **altitude**. Hal ini memberikan gambaran kepada kita betapa tinggi sebenarnya matahari itu berada di langit. Sudut horizontal, yang diukur dari garis utara-selatan, disebut sebagai **azimut**.

Penting untuk dipahami bahwa pembicaraan di atas mengenai sudut matahari hanya berdasarkan radiasi matahari secara langsung. Air dan partikel butiran debu membuat radiasi sinar matahari menjadi menyebar (Gbr.6.9b) sedemikian sehingga pada kondisi berawan, lembap,

Gambar. 6.9a Definisi sudut altitude dan azimut (dikutip dari *Architectural Graphic Standards, Ramsey/Sleeper 8th ed. John R. Hoke, ed. Copyright John Wiley 1988).*

Gambar. 6.9b Menyebar Radiasi

atau hari berdebu perbedaan radiasi tersebar menjadi bentuk energi matahari yang dominan.

6.10 WAKTU MATAHARI

Pada pukul 12:00 siang waktu matahari, matahari selalu berada tepat lurus ke arah selatan. Namun, matahari tidak akan berada tepat lurus ke arah selatan pada pukul 12:00 siang **waktu jam** sebab waktu matahari bervariasi dari waktu jam. Ada tiga alasan untuk hal ini. *Pertama* adalah seringnya penggunaan ***daylight saving time***. *Kedua* adalah penyimpangan garis bujur yang berkaitan dengan lokasi bangunan dari garis bujur standar jam wilayah. Alasan yang *ketiga* adalah konsekuensi fakta bahwa kecepatan bumi dalam orbitnya mengelilingi matahari berubah sepanjang tahun. Jumlah perubahan tergantung pada waktu tahunan. Mengubah waktu matahari ke waktu harian atau sebaliknya sungguh rumit, dan pada umumnya konversi tidak perlu karena tujuan kita sangat sederhana, yaitu mengumpulkan sinar matahari ketika hari terlalu dingin dan menolak sinar matahari ketika hari terlalu panas. Oleh karena itu, konversi waktu tidak diterangkan dalam buku ini, dan semua acuan waktu adalah dalam waktu matahari. Penulis hanya dapat memikirkan satu hal, yaitu mengetahui waktu munculnya beberapa sudut tertentu matahari penting di dalam arsitektur. Hal tersebut sangat jarang dilakukan sekarang ini adalah merancang sebuah kuil yang menghadap sorotan cahaya matahari akan menyentuh altar pada jam tertentu.

6.11 DIAGRAM JALUR MATAHARI HORIZONTAL

Walaupun sudut azimut dan altitude dapat diperoleh dari tabel, akan lebih informatif dan menyenangkan memperoleh informasi tersebut dari diagram jalur matahari. Dalam Gambar.6.11.a kita kembali melihat kubah langit, tetapi pada saat ini kubah langit mempunyai suatu acuan berupa kotak-kotak dari tinggi sudut dan garis azimut yang digambarkan seperti sebuah bola bumi yang mempunyai garis lintang dan garis bujur. Sama seperti peta dunia yang sering memakai apakah proyeksi Mercator maupun proyeksi kutub, maka terdapat proyeksi vertikal atau horizontal dari kubah langit (Gbr.6.11a). Perhatikan bagaimana garis acuan tersebut diproyeksikan pada permukaan vertikal dan horizontal.

Gambar. 6.9a Definisi sudut altitude dan azimut (dikutip dari *Architectural Graphic Standards, Ramsey/Sleeper 8th ed. John R. Hoke, ed. Copyright John Wiley 1988).*

Gambar. 6.9b Menyebar Radiasi

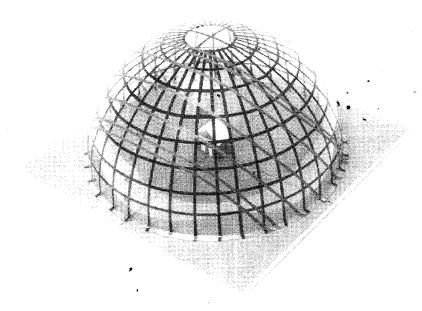
atau hari berdebu perbedaan radiasi tersebar menjadi bentuk energi matahari yang dominan.

6.10 WAKTU MATAHARI

Pada pukul 12:00 siang waktu matahari, matahari selalu berada tepat lurus ke arah selatan. Namun, matahari tidak akan berada tepat lurus ke arah selatan pada pukul 12:00 siang **waktu jam** sebab waktu matahari bervariasi dari waktu jam. Ada tiga alasan untuk hal ini. *Pertama* adalah seringnya penggunaan ***daylight saving time***. *Kedua* adalah penyimpangan garis bujur yang berkaitan dengan lokasi bangunan dari garis bujur standar jam wilayah. Alasan yang *ketiga* adalah konsekuensi fakta bahwa kecepatan bumi dalam orbitnya mengelilingi matahari berubah sepanjang tahun. Jumlah perubahan tergantung pada waktu tahunan. Mengubah waktu matahari ke waktu harian atau sebaliknya sungguh rumit, dan pada umumnya konversi tidak perlu karena tujuan kita sangat sederhana, yaitu mengumpulkan sinar matahari ketika hari terlalu dingin dan menolak sinar matahari ketika hari terlalu panas. Oleh karena itu, konversi waktu tidak diterangkan dalam buku ini, dan semua acuan waktu adalah dalam waktu matahari. Penulis hanya dapat memikirkan satu hal, yaitu mengetahui waktu munculnya beberapa sudut tertentu matahari penting di dalam arsitektur. Hal tersebut sangat jarang dilakukan sekarang ini adalah merancang sebuah kuil yang menghadap sorotan cahaya matahari akan menyentuh altar pada jam tertentu.

6.11 DIAGRAM JALUR MATAHARI HORIZONTAL

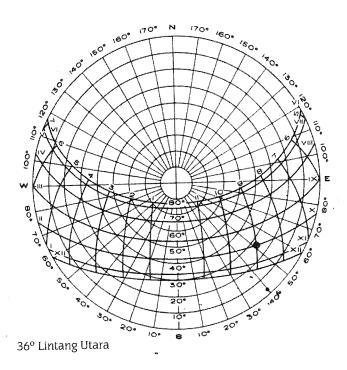
Walaupun sudut azimut dan altitude dapat diperoleh dari tabel, akan lebih informatif dan menyenangkan memperoleh informasi tersebut dari diagram jalur matahari. Dalam Gambar.6.11.a kita kembali melihat kubah langit, tetapi pada saat ini kubah langit mempunyai suatu acuan berupa kotak-kotak dari tinggi sudut dan garis azimut yang digambarkan seperti sebuah bola bumi yang mempunyai garis lintang dan garis bujur. Sama seperti peta dunia yang sering memakai apakah proyeksi Mercator maupun proyeksi kutub, maka terdapat proyeksi vertikal atau horizontal dari kubah langit (Gbr.6.11a). Perhatikan bagaimana garis acuan tersebut diproyeksikan pada permukaan vertikal dan horizontal.

Gambar. 6.11a Asal mula diagram jalur matahari vertikal dan horizontal.

Gambar. 6.11b Sebuah model kubah matahari yang menunjukkan jalur matahari pada hari tanggal 21 setiap bulannya. Untuk 12 bulan hanya diperlukan 7 jalur matahari karena jalur-jalur tersebut saling simetris (contoh tanggal 21 Mei sama dengan tanggal 21 Juli)

Kubah langit yang ditunjukkan dalam Gambar.6.11b mempunyai suatu garis azimuth, garis tinggi sudut, dan jalur matahari untuk masing-masing bulan pada satu tahun untuk posisi 32°LU. Ketika jalur matahari digambarkan pada suatu proyeksi horizontal di kubah langit, kita mendapatkan suatu diagram jalur matahari seperti ditunjukkan di dalam Gambar.6.11c. Di dalam diagram ini, jalur matahari pada tanggal 21 setiap bulannya diberi label oleh angka romawi (contoh, XII= Desember). Waktu harian ditandai di sepanjang jalur matahari pada bulan Juni (VI). Lingkaran konsentris menggambarkan altitude, dan bentuk radial menggambarkan azimut. Diagram jalur matahari untuk 36°LU ditunjukkan di dalam Gambar.6.11c. Diagram jalur matahari tambahan, dengan jarak garis lintang 4 derajat, dapat ditemukan pada Lampiran A.

Contoh: Tentukan azimut dan altitude dari matahari di Memphis, Tennessee, pada tanggal 21 Februari pukul 9:00 pagi.

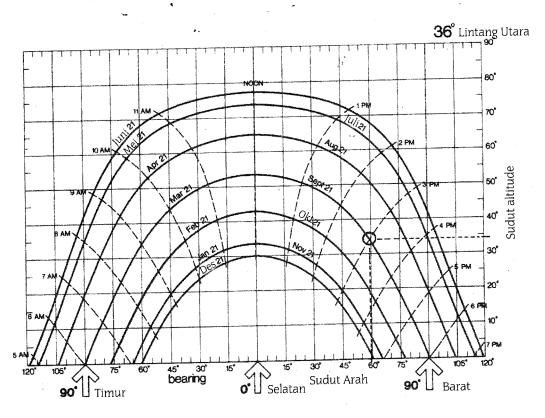
Langkah 1. Dari peta Amerika Serikat, temukan posisi garis lintang Memphis. Karena berada pada posisi sekitar 35°LU, gunakan diagram jalur matahari untuk 36°LU (ditemukan dalam Lampiran A dan Gambar. 6.11c).

Langkah 2. Pada diagram jalur matahari ini, temukan persimpangan jalur matahari untuk tanggal 21 Februari (Kurva II) dan garis pukul 9:00 pagi. Hal ini menunjukkan posisi matahari. Persimpangan dilingkari dalam Gambar.6.11c.

Gambar. 6.11c Diagram jalur matahari horizontal. Kumpulan lengkap diagram ini terdapat pada Appendix A (dikutip dari *Architectural Graphic Standards, Ramsey/Sleeper 8th ed. John R. Hoke, ed. Copyright John Wiley 1988)*

Langkah 3. Dari lingkaran konsentris, besarnya altitude ditemukan sekitar 27°.

Langkah 4. Dari garis radial, besarnya sudut azimut ditemukan sekitar 51° arah tenggara.

6.12 DIAGRAM JALUR MATAHARI VERTIKAL

Ilustrasi di dalam Gambar.6.11a juga menunjukkan bagaimana suatu proyeksi vertikal kubah langit dikembangkan. Perhatikan puncak kulminasi kubah langit diproyeksikan sebagai sebuah garis. Akibatnya, terjadi beberapa penyimpangan pada tinggi altitude. Di dalam Gambar.6.12a, kita melihat suatu diagram jalur matahari vertikal untuk 36°LU.

Gambar. 6.12a Diagram jalur matahari vertikal. Kumpulan lengkap diagram ini terdapat pada Appendix B (dikutip dari *Architectural Graphic Standards, Ramsey/Sleeper* Edisi ke-8 *John R. Hoke, ed. Copyright John Wiley 1988)*.

Sudut azimut dan altitude ditemukan melalui cara yang serupa dengan penggunaan diagram dialur matahari horizontal. Lampiran B menggambarkan diagram jalur matahari vertikal dari 28°LU sampai 56°LU tiap jarak 4°. Di bawah 26°LU dan di atas 56°LU mengacu pada *Sun Angles for Design*, oleh Robert Bennett.

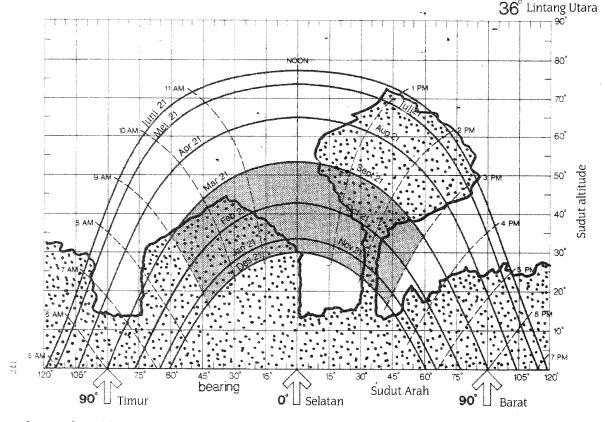
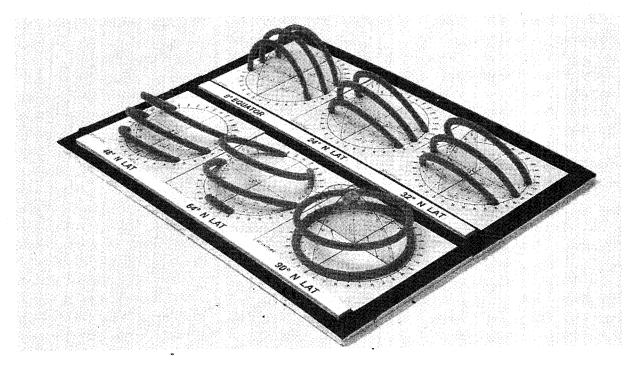
Contoh: Temukan azimut dan altitude dari sinar matahari di Albuquerque, New Meksico, pada tanggal 21 Maret pukul 3:00 sore.

Langkah 1. Dari Lampiran B, pilih diagram jalur matahari yang berada masuk di dalam 2° sesuai dengan lokasi yang dicari. Karena Albuquerque berada pada 35°N garis lintang, gunakan jalur matahari untuk 36°N.

Langkah 2. Temukan persimpangan kurva untuk tanggal 21 Maret dan jam 3 sore (lihat lingkaran pada Gambar.6.12a).

Langkah 3. Dari skala horizontal, azimut ditemukan sekitar 59° Barat Daya *(west of south)*

Langkah 4. Dari skala vertikal, altitude ditemukan sekitar 34° di atas garis horizontal.

Di samping menjadi sumber data sudut-matahari, diagram ini sangatlah membantu dalam menciptakan suatu model mental mengenai pergerakan matahari menyeberangi langit. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memvisualisasikan dan mendokumentasikan jendela matahari dan setiap penghalang yang menghalanginya. Area yang ternaungi dengan sempurna pada Gambar. 6.12b adalah jendela matahari musim dingin dari pukul 9:00 pagi sampai pukul 3:00 sore. Area yang ternaungi di sepanjang bawah adalah mewakili bayangan hitam pepohonan serta bangunan yang mengelilingi suatu tempat tertentu. Perhatikan bahwa satu bangunan dan satu pohon telah menghalangi sebagian jendela matahari selama beberapa bulan kritis di musim dingin. Cara mudah dan cepat untuk menghasilkan profil horizontal seperti itu adalah dengan menggunakan alat evaluasi lokasi seperti diuraikan di dalam subbab 6.14.

Gambar. 6.12b Jendela matahari musim dingin dan daerah bayang-bayang dari objek digambarkan pada diagram jalur matahari ini. Daerah bayang-bayang dari lokasi tertentu digambarkan dengan alat untuk mengevaluasi lokasi seperti digambarkan pada Bagian 6.14 *(Sun Path Diagram* dkutip dari *The Passive Solar Energy Book copyright E. Mazria*, dicxetak ulang atas izin).

Gbr. 6.13 Sebuah perbandingan dari beberapa variasi model jalur-matahari, catatan khusus untuk jalur matahari pada daerah Ekuator, *Tropic of Cancer, Arctic Circle*, dan Kutub Utara

6.13 MODEL/MAKET JALUR MATAHARI

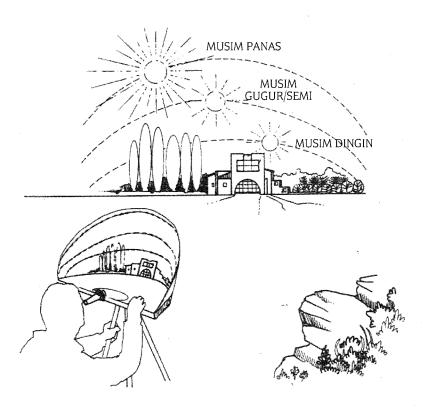
Model tiga-dimensional dari diagram jalur-matahari sangatlah membantu di dalam memahami ilmu ukur sudut matahari yang kompleks (Gbr.6.13). Untuk memudahkan, hanya jalur matahari tanggal 21 Juni, 21 Maret/September, dan 21 Desember yang ditunjukkan. Model ini dapat membantu seorang perancang dalam membayangkan dengan lebih baik bagaimana matahari akan berhubungan dengan penempatan suatu bangunan di pusat dari model jalur-matahari.

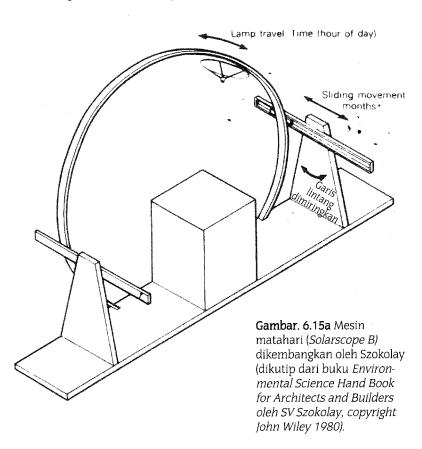
Berbagai model menggambarkan bagaimana jalur matahari bervariasi berdasarkan posisi garis lintang. Model yang ditunjukkan adalah untuk garis lintang khusus khatulistiwa pada 0 derajat, Garis Balik Cancer pada 23,5° (model adalah untuk 24 persen), Lingkar Kutub Utara pada 66,5° (model adalah untuk 64°) dan Kutub Utara pada 90°. Lampiran F memberikan instruksi lengkap dan satu set tabel yang diperlukan untuk menciptakan suatu model jalur matahari untuk setiap posisi garis lintang berikut; 0°, 24°, 28°, 32°, 36°, 40°, 44°, 48°, 64°, dan 90°. Hal ini sangatlah bermanfaat untuk menghemat lima waktu yang diperlukan selama lima belas menit untuk membuat salah satu model jalur matahari ini. Model dapat diletakkan pada sudut meja perancang sebagai pengingat di mana posisi matahari pada hari dan tahun yang berbeda.

6.14 ALAT EVALUASI LOKASI MATAHARI

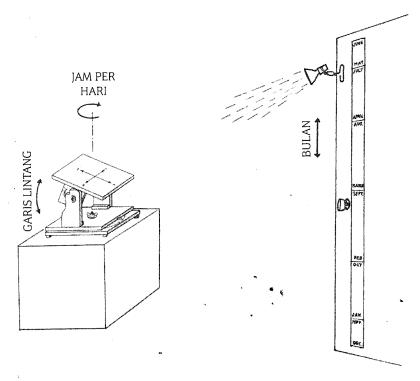
Sebuah bangunan pada suatu lokasi yang tidak mempunyai akses terhadap matahari bagaikan suatu bencana total. Untungnya, tersedia suatu alat yang baik untuk menganalisis sebuah lokasi dikaitkan dengan hubungannya terhadap akses matahari. Lampiran H memberikan informasi bagaimana cara membangun dan menggunakan **alat evaluasi lokasi** pribadi dengan biaya yang rendah yang serupa dengan yang ditunjukkan di dalam Gambar. 6.14. Penulis sangat merekomendasikan penggunaan alat ini.

Pada Gambar. 6.14 digambarkan, lokasi diamati melalui suatu alat sedemikian rupa sehingga diagram jalur-matahari ditumpuk di atas gambar imajinasi lokasi. Jadi jelas dapat dilihat berapa luas jendela matahari yang terhalang.

Satu kelemahan serius yang menyangkut alat evaluasi lokasi

Gambar. 6.14 Diagram jalur matahari digunakan sebagai bagian dari alat untuk mengevaluasi lokasi.

Gambar. 6.15a Mesin matahari (*Solarscope B*) dikembangkan oleh Szokolay (dikutip dari buku *Environmental Science Hand Book for Architects and Builders oleh SV Szokolay, copyright John Wiley 1980)*.

ini adalah bahwa alat ini hanya menandai akses matahari pada titik di mana alat ini digunakan. Alat ini tidak bisa dengan mudah menentukan akses matahari untuk atap sebuah bangunan bertingkat banyak. Namun, ada sebuah solusi atas masalah ini. Sebuah model yang berskala dari suatu lokasi yang dianalisis dengan mesin matahari merupakan metode evaluasi lokasi yang tepat bagi akses matahari. Model berskala itu kemudian bisa juga digunakan untuk tahap perancangan dan presentasi proyek.

6.15 MESIN MATAHARI

Untuk membuat simulasi naungan, bayang-bayang, penetrasi matahari, dan akses matahari pada suatu model berskala, digunakan suatu alat yang disebut sebagai **mesin matahari** atau **heliodon**. Mesin matahari menirukan hubungan matahari dan sebuah bangunan. Tiga variabel yang memengaruhi hubungan ini adalah garis lintang, waktu tahunan, dan waktu harian. Tiap mesin matahari mempunyai sumber cahaya, permukaan buatan, dan tiga penyesuaian sehingga cahaya akan membentur permukaan pada sudut yang sesuai dengan garis lintang, waktu tahunan, dan waktu harian yang diinginkan. Dalam mesin sinar matahari yang ditunjukkan pada Gambar. 6.15a di bawah, kita dapat melihat cahaya berjalan pada suatu jalur melingkar untuk menggambarkan waktu harian. Jalur bergeser bolak-balik untuk menirukan waktu tahunan dan alat ini diputar untuk menggambarkan garis latitude. Walaupun mesin

Gambar. 6.15b Tipe mesin matahari (*Heliodon*) ini merupakan alat yang praktis dan tepat untuk setiap studio desain.

matahari semacam ini sangat mudah digunakan dan dipahami, tetapi harganya sangat mahal dan sulit untuk dibuat.

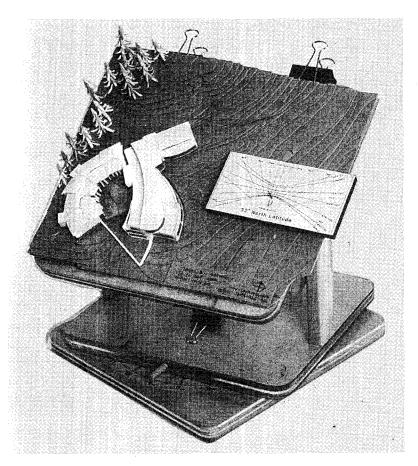
Mesin matahari pada Gambar. 6.15b terdiri dari suatu model berdiri, yang bersandar pada meja, dan sebuah lampu tempel, yang menempel pada sisi pintu biasa. Penyesuaian untuk waktu tahunan dilakukan dengan membuat cahaya yang dapat bergerak ke atas dan ke bawah sepanjang bingkai pintu. Posisi model dimiringkan sebagai penyesuaian terhadap garis lintang dan berputar pada sebuah poros vertikal untuk penyesuaian waktu harian. Alat sederhana, tetapi efektif, dapat digunakan di beberapa tahap selama proses perancangan:

1. analisis lokasi terhadap akses matahari;
2. perancangan (antara lain mencoba ukuran teritisan sampai memperoleh besar area naungan yang diinginkan);
3. membandingkan perancangan alternatif;
4. presentasi langsung atau pembuatan dokumentasi.

Meskipun penggunaan mesin matahari jenis ini tidak semudah menggunakan atau memahami mesin pertama, mesin ini sangat murah dan mudah untuk dibuat (hanya sekitar 20 dolar US). Kelebihan lain mesin matahari ini adalah meskipun dapat mengakomodasi model besar, mesin ini ringan dan ringkas sehingga mudah untuk disimpan atau dibawa. Karena mesin matahari jenis ini memiliki banyak keunggulan, instruksi yang lengkap mengenai pembuatan dan penggunaannya terlampir pada Lampiran C.

Penulis merasakan benar bahwa waktu yang dihabiskan untuk pembuatan mesin matahari ini terbayar kembali dengan cepat dalam bentuk perancangan arsitektur yang lebih baik. Walaupun teknik grafis dapat diperoleh, teknik tersebut sulit dipelajari maupun diaplikasikan pada kasus sesederhana apa pun. Banyak program komputer dapat mempresentasikan bayang-bayang dan berkas cahaya matahari ketika memasuki sebuah ruang. Walaupun komputer merupakan alat yang canggih, penulis yakin bahwa maket masih merupakan cara terbaik untuk memperoleh pemahaman mengenai perancangan arsitektur yang responsif terhadap matahari. Maket benar-benar mudah untuk dipahami, fleksibel, dan murah. Hanya diperlukan investasi awal untuk memperoleh sebuah mesin matahari, dan investasi ini cukup sederhana.

6.16 JAM MATAHARI UNTUK MENGUJI MODEL/MAKET

Cara termurah untuk menguji area teduh, akses matahari, dan pencahayaan siang hari suatu model adalah dengan menggunakan jam matahari (Gb.6.16). Sebagai pengganti penggunaan jam matahari, cara konvensional untuk menentukan waktu dari posisi matahari adalah dengan memutar jam matahari dan memiringkannya sampai tanggal dan jam pengujian yang diinginkan dicapai berdasarkan posisi tertentu matahari saat itu. Dengan demikian, sebuah jam matahari akan ditempel pada

Gambar. 6.16 Sundials bisa digunakan untuk menguji model baik di bawah cahaya matahari maupun melalui suatu sumber pencahayaan buatan.

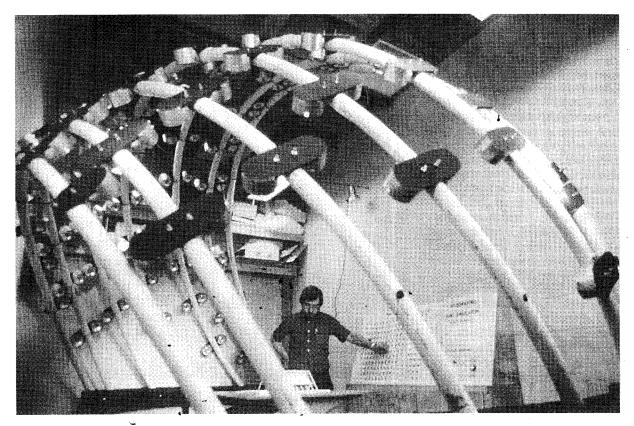
suatu model sehingga bagian selatannya sejajar dengan model. Model bersama dengan jam matahari, kemudian diputar dan dimiringkan sampai bayang-bayang *gnomon*[2] mengarah pada hari dan waktu pengujian. Instruksi pembuatan jam matahari dapat ditemukan pada Lampiran E. Mesin matahari yang tersebut di atas dapat digunakan untuk memosisikan model pada orientasi dan kemiringan yang sesuai. Langkah-langkah tentang bagaimana cara menggunakan jam matahari berkaitan dengan mesin matahari dapat dilihat pada bahasan *"Alternate Mode of Use of the Sun Machine"* di dalam bagian C.4 dari Lampiran C.

Jam matahari mempunyai kerugian dan keuntungan yang penting berkaitan dengan pengujian model fisik. Ketika orang menggunakan matahari sebagai sebuah sumber cahaya, ketepatan dapat dicapai secara akurat di dalam memvisualisasikan bayang-bayang dan berkas sinar matahari pada model. Namun, gaya pengujian ini terbatas pada waktu siang hari yang cerah, di mana hal ini tidak mungkin diperoleh pada beberapa kondisi iklim dan beberapa waktu dalam satu tahun. Sesuatu yang kadang kurang akurat, tetapi penggunaannya lebih praktis dalam kaitan dengan jam matahari adalah dengan menggunakan suatu sumber cahaya buatan, seperti penggunaan proyektor pada ujung sebuah koridor.

Penulis percaya bahwa jam matahari tepat untuk membuat foto rancang yang telah selesai yang akurat dan untuk model dalam mempelajari cahaya alami di siang hari. Sementara itu mesin matahari lebih baik untuk pemahaman mengenai bayangan dan akses sinar matahari selama proses perancangan.

6.17 MESIN MATAHARI TERINTEGRASI DAN EMULATOR MATAHARI

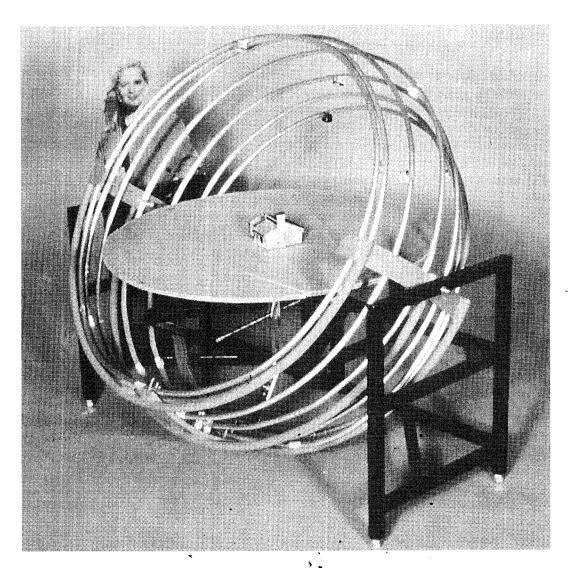
Suatu jenis mesin matahari baru telah dikembangkan oleh pengarang pada Universitas Auburn, sebuah sekolah arsitektur (Gbr.-6.17a). Sebelum dinyalakan pun mesin ini telah berfungsi sebagai alat yang baik bagi pendidikan sebab alat ini merupakan model tiga dimensional jendela matahari. Dengan demikian, hubungan matahari dan bumi menjadi mudah untuk dipahami. Terdapat tombol yang terpisah untuk masing-masing fasilitas pencahayaan yang memudahkan simulasi dari sudut matahari untuk setiap waktu atau bulan mana pun. Penyesuaian garis lintang dilakukan dengan memiringkan meja model. Hubungan bumi matahari yang dinamis alami diperagakan dalam bentuk simulasi dengan urutan pencahayaan yang otomatis.

Alat ini disebut sebagai "Mesin Matahari Terintegrasi" bukan hanya karena alat ini meragakan sudut matahari secara otomatis seperti dilakukan oleh

Gambar. 6.17a Mesin matahari terpadu ini dikembangkan oleh penulis di *Auburn University, Alabama.*

mesin-mesin yang telah disebutkan sebelumnya, tetapi juga karena mesin ini dapat meringkas seluruh dampak musim. Sebagai contoh, ketika orang memeriksa tampilan desain bangunan yang memanfaatkan cahaya matahari secara pasif pada musim dingin, semua cahaya yang mewakili musim dingin menyala pada saat itu. Kemudian, photocells di dalam model mengukur kombinasi dampak matahari secara menyeluruh selama musim itu. Hal ini akan memberikan perbandingan yang objektif dari beberapa alternatif suatu rencana desain.

Setelah penggunaan dua puluh tahun, Mesin Matahari Terintegrasi telah terbukti sebagai alat yang sangat berdampak aktif untuk pengajaran ilmu ukur matahari dan perancangan. Setahu penulis, hal ini dikarenakan pengeluaran biaya dan kebutuhan ruang, mesin matahari ini belum pernah diduplikat. Akibatnya, penulis merancang suatu mesin matahari yang lain dengan memaksimalkan keuntungan dan meminimalkan kekurangan dari jenis Mesin Matahari Terintegrasi. Emulator Matahari yang baru (Gb.6.17b) memelihara kejelasan konseptual penggabungan mesin matahari yang sebelumnya dengan membiarkan modelnya horizontal serta membuat cahaya berputar mengelilingi model tersebut. Ukuran emulator matahari cukup kecil untuk dirakit dan dikirim, penulis berharap suatu hari mesin matahari ini akan ada di tiap-tiap sekolah arsitektur.

6.18 RINGKASAN

Konsep hubungan antara matahari dan bumi yang diperkenalkan di dalam bab ini merupakan dasar pemahaman banyak hal dalam buku ini. Bab mengenai energi matahari pasif, peneduh, pendinginan pasif, dan pencahayaan alami sangatlah tergantung pada informasi yang telah diperkenalkan di sini.

Gambar. 6.17b Emulator matahari merupakan jenis mesin matahari terakhir yang dikembangkan oleh penulis. Model sudah termasuk dalam ukuran skala.

IDE POKOK BAB 6

1. Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi terdiri dari sekitar 47 persen radiasi terlihat, 48 persen berupa gelombang pendek inframerah (panas), dan sekitar 5 persen berupa radiasi ultraviolet.
2. Musim dingin disebabkan oleh terjadinya waktu siang hari yang lebih pendek, dampak penyaringan akibat sudut matahari yang lebih rendah, dan Hukum Consine.
3. Matahari berada 47 derajat lebih tinggi di langit pada musim panas dibanding pada musim dingin.
4. Sudut matahari digambarkan oleh sudut azimut dan altitude. Altitude diukur dari sisi horizontal dan azimut dari sisi selatan.
5. Jendela matahari merupakan bagian dari kubah langit di mana sinar matahari masuk.
6. Diagram jalur matahari menyajikan pola pergerakan matahari ketika menyeberangi langit dan memberikan data sudut matahari yang spesifik.
7. Mesin matahari merupakan alat yang hebat untuk menuju keberhasilan arsitektur yang merespons matahari.
8. Model jalur matahari dan jam matahari adalah peralatan sederhana untuk menuju keberhasilan arsitektur yang merespons matahari.

Footnotes

[1]*Solstice*: waktu dalam satu tahun di mana matahari berada pada jarak terjauh dari garis khatulistiwa.

[2]*Gnomon*: penyajian dari sistem sumbu 3 dimensi (x-y-z) aksis sistem

SUMBER

SUMBER DARI SEBUAH MESIN MATAHARI KOMERSIAL

Sebuah mesin matahari disebut "SOLUX" sekarang dapat dibeli dengan harga sekiter $900 US dari:

Robert A. Little, FAJA
Design & Architecture
5 Peper Ridge Road
Cleveland, OH 44124
(216) 292-4858

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

Anderson, B. *Solar Energy.*
Bennet, R. *Sun Angles for Design.*
Mazria, E. *The Passive Solar Energy Book.*
Stein, B., and J. S. Reynolds. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.*

Papers

Knowles, R. L. "Rhythm and Ritual," www-rcf.usc.edu/~rknowles
Knowles, R. L. "On Being the Right Size," www-rcf.usc.edu/~rknowles
Knowles, R. L. "The Rituals of Place," www-rcf.usc.edu/~rknowles

BAB 7

PENYINARAN MATAHARI PASIF

"Praktik masyarakat zaman kuno yang sangat bermanfaat harus diterapkan pada lokasi sehingga *loggias* harus memiliki matahari musim dingin, tetapi ternaungi di musim panas."

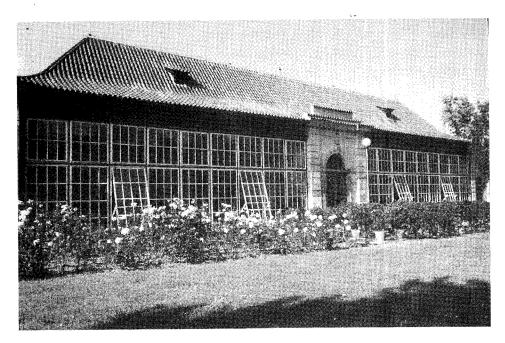
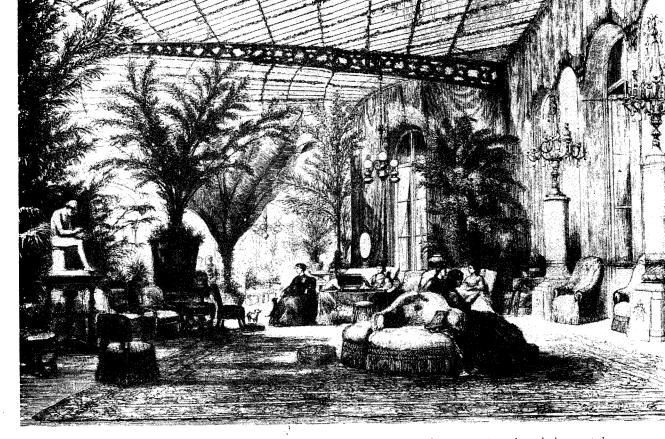
Leone Battista Alberti
dikutip dari De Re Aedificatoria, 1452
pekerjaan modern yang pertama pada arsitektur,
yang telah memengaruhi pengembangan
gaya arsitektural Renaissance.

7.1 SEJARAH

Walaupun masyarakat pada zaman Yunani kuno telah menggunakan matahari untuk memanaskan rumah mereka, manfaatnya tidak banyak sebab sebagian besar panas yang ditangkap akan terlepas lagi melalui lubang jendela yang terbuka. Para ahli dan praktisi Romawi pertama kali memecahkan masalah ini dengan penggunaan kaca pada jendela mereka sekitar 50 A.D. Kaca yang diciptakan sebagai penjerat panas yang efisien saat ini kita sebut dengan istilah **efek rumah kaca *(the green house effect)***. Gagasan ini berhasil dengan baik di mana berbagai kegunaan gagasan ini kemudian ditemukan oleh masyarakat Romawi.

Kaum elite sering menambahkan ruang matahari *(heliocamicus)* pada vila mereka. Rumah kaca memproduksi sayur-mayur dan buah-buahan dengan periode tahunan. Kemudian, versi pemanfaatan panas matahari yang lebih "modern" bagi Bangsa Romawi umumnya menghadap ketika panas matahari sangat diperlukan. Pemanasan matahari cukup penting sehingga para arsitek Romawi, seperti Vitruvius, menulis tentang hal itu di dalam buku-buku mereka.

Kejatuhan Roma telah menjadikan penggunaan energi matahari merosot dan Eropa memasuki Zaman 'kegelapan'. Walaupun demikian, sepanjang zaman Renaissance, arsitek, seperti Palladio, telah membaca dan menghargai saran-saran Vitruvius. Palladio menggunakan beberapa prinsip klasik, seperti menempatkan ruang musim panas pada sisi utara bangunan dan ruang musim dingin pada sisi selatan bangunan. Akan tetapi, sayangnya, bangsa Eropa utara pada penerapannya hanya meniru sisi gayanya, bukan secara prinsip-prinsip yang menjadi panduan bagi Palladio.

Abad ke-17 di Eropa Utara merupakan suatu kebangkitan kembali pengetahuan mengenai pemanasan dengan matahari, tetapi bukan untuk kebutuhan manusia. Tumbuhan yang eksotis dari negeri yang baru ditemukan, dan kegemaran akan jeruk dan buah-buahan iklim hangat lain dari kalangan elite menciptakan suatu kebutuhan yang cukup besar terhadap rumah kaca (Gbr.7.1a). Dengan penemuan mengenai teknik pembuatan gelas yang lebih baik, abad ke-18 menjadi dikenal sebagai zaman rumah kaca. Dengan cepat, rumah kaca yang terhubung dengan gedung utama menjadi tempat penyimpanan tumbuh-tumbuhan yang dikenal sebagai ***conservatories* (kata lain untuk rumah kaca)** (lihat Gbr.7.1b). Ruang ini seperti halnya **ruang matahari** pada kehidupan modern, digunakan sebagai ruang untuk menanam tumbuhan, sebagai tambahan ruang pada rumah tinggal, dan

Gambar.7.1a *"The Orangery,"* sebuah taman istana yang megah di Praha Republik Czech, memiliki permukaan kaca pada sisi selatannya, yang merupakan tipe rumah kaca yang populer pada abad ke-18.

Gambar.7.1b Dalam ruang konservatori/rumah kaca terdapat tanaman, panas, dan ruang tinggal tambahan untuk masyarakat kelas atas pada abad ke-19 di Eropa. Ruang konservatori dari Putri Mathilde Bonaparte, Paris, sekitar tahun 1869 (dikutip dari *Uberland and Maer, Allgemeine Illustrierte Zeitung 1868).*

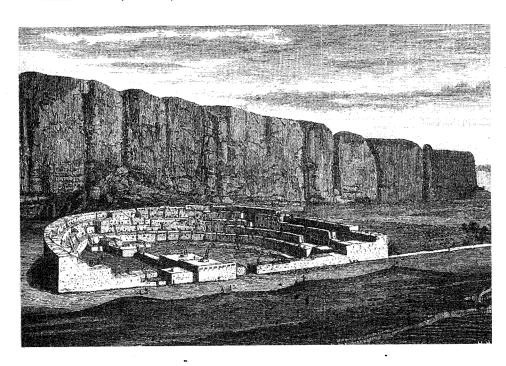
membantu pemanasan ruang utamanya pada musim dingin. Namun, penggunaan matahari ini. Ditujukan untuk kalangan orang-orang berada tersebut.

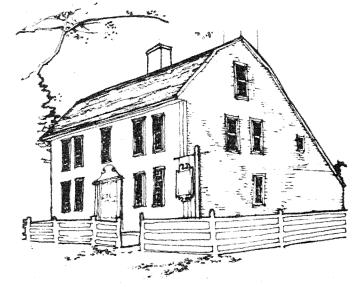
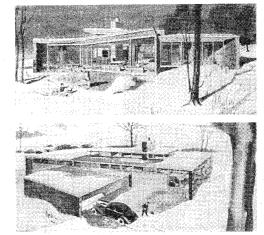
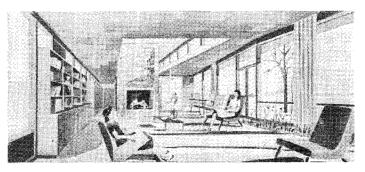
Gagasan mengenai pemanasan dengan matahari untuk seluruh umat manusia tidak saja mulai dari Eropa hingga tahun 1920-an. Di Jerman, proyek perumahan dirancang untuk mengambil keuntungan yang dapat diperoleh dari matahari. Walter Gropius dari sekolah *Bauhaus* merupakan seorang pendukung utama gerakan baru ini. Penelitian dan sejumlah pengalaman yang berkaitan dengan rancangan yang memanfaatkan matahari perlahan-lahan kemudian menyebar hingga menyeberangi Atlantik dengan munculnya tokoh-tokoh seperti Gropius dan Marcel Breuer.

7.2 MATAHARI DI AMERIKA SERIKAT

Rancangan penyinaran matahari pasif juga berakar dari penduduk asli Amerika. Banyak pemukiman penduduk asli Amerika di bagian barat daya memperlihatkan pemahaman luar biasa terhadap prinsip-prinsip penyinaran matahari pasif. Salah satu yang paling menarik adalah kampung Indian *(Pueblo) Bonito* (Gbr.7.2a), di mana perumahan yang menghadap sisi selatan desa yang berbentuk setengah lingkaran lebih maju ke depan agar masing-masing rumah mendapatkan akses penuh matahari, dan konstruksi dindingnya yang masif bermanfaat untuk menyimpan panas sehingga dapat digunakan pada malam hari.

Sebagian bangunan kolonial di Inggris Baru juga menunjukkan penerapan arah orientasi yang baik. *"Salt box"* seperti ditunjukkan dalam Gambar.7.2b, mempunyai dinding dengan ketinggian dua lantai yang memiliki banyak jendela menghadap ke selatan yang berfungsi untuk menangkap matahari pada musim dingin. Dinding yang menghadap ke utara dengan ketinggian satu lantai memiliki sedikit jendela dan sebuah atap panjang untuk membelokkan angin dingin pada musim dingin.

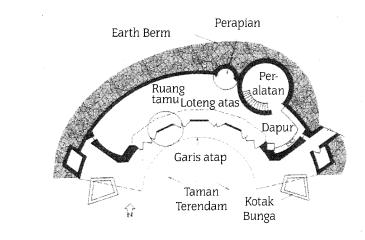
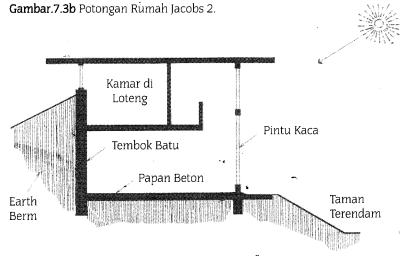
Selain contoh-contoh di awal ini, pemanasan rumah dengan memanfaatkan matahari telah membuat kemajuan yang lambat hingga tahun 1930-an ketika sejumlah arsitek Amerika mulai menyelidiki potensi pemanasan

Gambar.7.2a *Pueblo Bonito, Chaco Canyon* yang dibangun sekitar *1000 AD* merupakan contoh desa matahari asli Amerika (dikutip dari *Houses and Houselife of the American Aborogines by Lewis Morgan, (contributors to North American Ethnology, Vol 4) US. Department of the interior/US GPO.1861*).

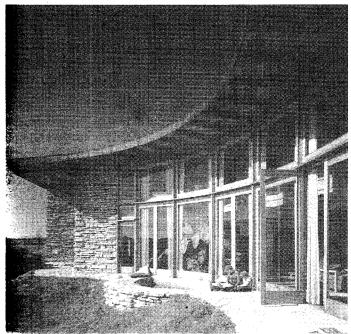
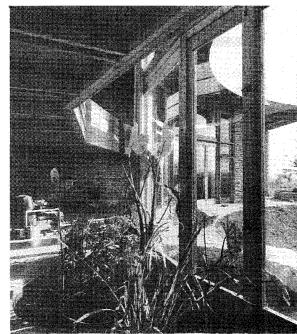
Gambar.7.2b Rumah kaca menghasilkan tanaman, panas , dan ruang tambahan untuk kalangan elite Eropa pada abad ke-19. Rumah kaca milik putri raja Mathilde Bonaparte, Paris, sekitar tahun 1869. (Diambil dari *Uber Land und Meer, Allgemeine Illustrierte Zeitung*, 1868).

Gambar.7.2c Salah satu rumah modern yang memanfaatkan cahaya matahari di Amerika, dengan arsitek *George Fred Keck, Chicago* tahun 1940 (*Courtesy of Libby-Owens Ford Co)*.

matahari. Salah satu pelopornya adalah George F. Keck yang membangun banyak rumah matahari *(solar homes)* yang sukses (Gbr. 7.2c). Pemicu arsitek Amerika melakukan pekerjaan ini adalah karena pengaruh dari imigran Eropa dan teringat saat akan kekurangan bahan bakar pada masa perang menjadikan pemanasan dengan matahari sangat populer di masa meningkatnya perumahan di akhir masa peperangan tersebut. Namun, harga rumah dengan tenaga matahari *(solar homes)* pada awalnya sedikit lebih tinggi dan secara terus-menerus jatuhnya harga bahan bakar mengakibatkan publik mengabaikan pemanasan pada tahun 1950-an.

7.3 *HEMICYCLE* MATAHARI

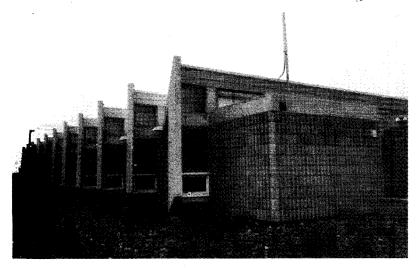
Salah satu rumah matahari paling menarik yang dibangun pada saat ini adalah Rumah Jacobs II (Gbr. 7.3a), dirancang oleh Frank Lloyd Wright. Gambar.7.3b menunjuk-

Gambar.7.3b Potongan Rumah Jacobs 2.

Gambar.7.3c Denah Rumah Jacobs 2.

Gambar.7.3a Rumah Jacobs 2, dengan arsitek Frank Llyod Wright, Madison WI. Circa 1948 (Foto oleh *Ezra Stoller ©Esto.)*

Gambar.7.3d Pemandangan dari ruang dalam Rumah Jacobs 2 (Foto oleh *Ezra Stoller ©Esto).*

kan denah rumah ini, yang disebut oleh Wright sebagai suatu ***hemicycle* matahari**. Seperti biasanya, Wright lebih maju daripada masanya sebab bangunan ini dalam banyak hal merupakan rumah yang memanfaatkan energi penyinaran matahari pasif dengan baik sesuai standar masa kini. Sebagai contoh, kebanyakan dari area kaca menghadap pada arah datangnya sinar matahari pada musim dingin, tetapi ternaungi dari matahari pada musim panas oleh suatu teritisan sejauh 6 kaki (Gbr.7.3c). Banyak di antara massa termal, dalam wujud dinding batu dan beton, mengumpulkan panas pada malam hari dan mencegah panas yang berlebihan sepanjang harinya (Gbr.7.3d). Bangunan disekat untuk mengurangi pelepasan panas, dan *berm* bumi melindungi bagian sisi utara. Dinding batu yang diekspos adalah dinding berongga yang diisi dengan penyekat *verrniculite*. Kaca pada sisi lain bangunan mengalirkan udara melalui ventilasi silang selama musim panas.

Seperti kebanyakan karya *Wright*, perancangan rumah ini terintegrasi dengan baik sekali. Sebagai contoh, dinding lengkung tidak hanya menciptakan *Patio*[1] yang ternaungi, tetapi juga secara efektif menahan tekanan *berm*, seperti halnya tanggul lengkung yang menahan tekanan dari air di belakangnya. Dinding batu yang diletakkan tidak beraturan dan berlimpah menyediakan massa termal yang menghubungkan ruang dalam dengan lingkungan alami pada lokasi bangunan. Kesuksesan menggabungkan kebutuhan psikologis dan fungsional tampaknya menghasilkan arsitektur terbaik. Hal inilah yang sebenarnya dimiliki oleh arsitek-arsitek besar pada umumnya.

7.4 PENEMUAN KEMBALI ENERGI PENYINARAN MATAHARI PASIF

Dari akhir tahun 1950-an sampai pertengahan tahun 1970-an, secara luas diasumsikan bahwa sistem matahari aktif mempunyai potensi terbesar dalam pemanfaatan energi matahari. Perlahan-lahan disadari bahwa penggunaan pengumpul energi matahari aktif untuk pemanasan ruang akan menambah jumlah pengeluaran utama suatu rumah dalam jumlah yang cukup berarti, sedangkan secara pasif energi matahari bisa diperoleh dengan biaya yang kecil atau bahkan tanpa biaya tambahan. Kenyataan juga menunjukkan bahwa sistem penyinaran matahari pasif membutuhkan biaya pemeliharaan yang lebih rendah dan tingkat keandalan yang lebih tinggi.

Kemungkinan terbesar pemanfaatan energi matahari secara pasif biasanya dapat menciptakan suasana lingkungan ruang dalam rumah yang lebih nyaman dibandingkan dengan sekadar menggunakan pengumpul cahaya matahari aktif untuk menyediakan panas. Kantor Jasa SDM di Taos, New Mexico, merupakan tempat yang menyenangkan untuk bekerja. Hal ini disebabkan oleh kelimpahan cahaya matahari yang masuk, terutama pada saat musim dingin (Gbr.7.4a). Suatu pengaturan yang berbentuk seperti gergaji (*sawtooth*) pada sisi barat dan timur yang memungkinkan jendela pada tampak bangunan tersebut menghadap ke arah selatan. Ada juga jendela-jendela *clerestory* yang memotong seluruh atap sehingga bagian ruang dalam bangunan pun mempunyai akses matahari. Drum air yang dicat hitam yang berada di dalam clerestory jendela mengeluarkan

Gambar.7.4a Kantor *Human Services Field di Taos NM.*(1979) dengan jendela kaca yang mengarah pada 20º arah tenggara untuk memperoleh cahaya matahari pagi. Jendela *Clerestory* yang menutupi permukaan atap menyediakan cahaya siang hari dan panas untuk malam hari.

Gambar.7.4b Integrasi dari pasif solar dan hibrid solar pada perumahan multiple di Berlin 1988 (dikutip dari *Courtesy of and copyright Institut fur Bau, Umwelt-und Solar Forschung).*

panas yang bermanfaat untuk penggunaan pada malam hari, sedangkan jumlah daun jendela dibatasi untuk mengurangi pelepasan energi panas tersebut.

Banyak keuntungan dari pembaruan yang terjadi di Mexico Baru, bukan hanya karena sinar matahari yang berlimpah, tetapi juga karena kehadiran kelompok masyarakat yang ingin mencoba gaya hidup berbeda. Suatu contoh adalah pengembang yang idealistis, *Wayne Nichols*, yang membangun banyak rumah matahari, mencakup rumah *Balcomb* yang cukup terkenal, yang akan dijelaskan nanti. Seperti yang sangat sering terjadi, eksperimen yang sukses dalam perubahan gaya hidup kemudian diadopsi oleh kultur tendensi. Sistem pemanfaatan energi matahari secara pasif kini sudah diterima oleh budaya sekarang karena telah terbukti menjadi salah satu gagasan terbaik.

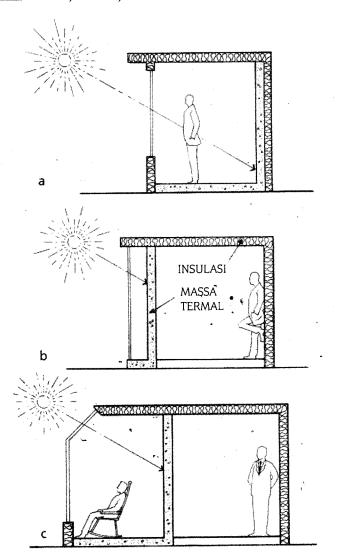
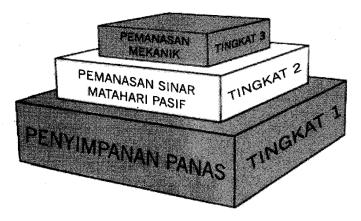
Pemanasan penyinaran matahari pasif juga terkenal di negara-negara lain. Rumah yang sukses memanfaatkan energi matahari secara pasif bahkan dibangun di daerah dengan iklim yang hampir selalu berawan dan cuaca yang mendung, seperti ditemukan daerah Jerman Utara pada posisi garis lintang 54 derajat. Ini merupakan posisi garis lintang yang sama dengan di Alaska Selatan (Gbr.7.4b). Kesuksesan bangunan yang memanfaatkan energi matahari secara pasif dalam berbagai iklim berbeda merupakan indikasi yang baik mengenai ketepatan pendekatan ini pada rancangan.

7.5 PENYINARAN MATAHARI PASIF

"Penyinaran matahari pasif" mengacu pada suatu sistem yang mengumpulkan, menyimpan, dan mendistribusikan energi matahari tanpa penggunaan kipas, pompa, atau alat pengontrol yang kompleks. Fungsi sistem ini berstandar pada pendekatan rancangan bangunan yang terintegrasi, di mana unsur-unsur dasar bangunan, seperti jendela, dinding, dan lantai, mempunyai fungsi berbeda sebanyak mungkin. Sebagai contoh, dinding tidak hanya berfungsi untuk menopang atap dan melindungi dari cuaca di luar, tetapi juga berfungsi sebagai penyimpan panas dan unsur yang dapat menyebarkan panas. Dengan cara ini, berbagai komponen bangunan secara bersama-sama memenuhi kebutuhan arsitektural, struktural, dan energi. Tiap-tiap sistem pemanasan penyinaran matahari pasif akan memiliki sedikitnya dua unsur sebagai unsur pengumpul berupa deretan kaca pada sisi bangunan yang menghadap selatan dan unsur penyimpanan energi yang pada umumnya terdiri dari massa penyimpan panas, seperti batu karang atau air.

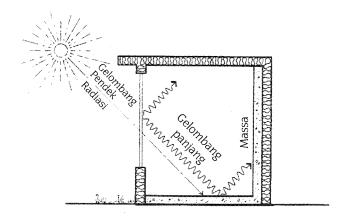
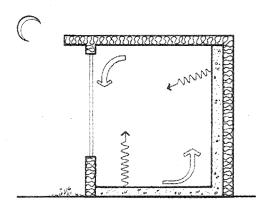
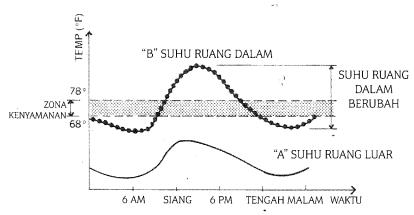
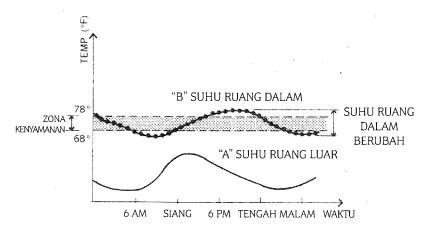
Berdasarkan pada hubungan kedua unsur ini, ada beberapa jenis kemungkinan pada sistem penyinaran matahari pasif. Gambar.7.5a menggambarkan ketiga konsep utama tersebut, yaitu:

a. penerimaan langsung (*direct-gain*);
b. dinding trombe;
c. ruang matahari.

Masing-masing konsep pemanasan ruang yang populer ini akan dibahas secara lebih terperinci. Bab tersebut akan menyimpulkan hasil pembahasan dari beberapa sistem ruang pemanasan yang tidak begitu umum.

Gambar.7.5a Tiga tipe utama sistem pemanasan dangan pasif solar yaitu, (a) pemanasan langsung; (b) dinding trombe; dan (c) ruang matahari.

Gambar.7.5b Pemanasan dengan sistem pasif solar berada pada urutan ke-2 dari tiga pendekatan perancangan yang efisien dan ramah lingkungan. Urutan pertama adalah sistem penyimpanan panas.

Penyinaran matahari pasif merupakan bagian dari rancangan rasional yang unggul melalui tiga pendekatan strata rancangan (Gbr.75b). Strata yang pertama terdiri dari memperkecil pelepasan panas melalui kulit bangunan dengan menggunakan penyekat yang sesuai, orientasi, dan perbandingan luas area permukaan terhadap volumenya. Semakin baik arsitek merancang penahan panas, semakin sedikit pemanasan akan diperlukan. Strata yang ke dua terdiri dari penggunaan energi matahari oleh alat-alat pasif yang diterangkan di dalam bab ini. Peralatan mekanik dan energi fosil dari strata ketiga dibutuhkan hanya untuk persediaan sejumlah kecil pemanasan yang tidak terpenuhi oleh strata satu dan dua.

7.6 SISTEM PENERIMAAN LANGSUNG (*DIRECT-GAIN*)

Tiap-tiap jendela yang menghadap selatan menciptakan suatu sistem **penerimaan langsung (*direct-gain*)**, sedangkan jendela pada orientasi lain akan kehilangan panas lebih banyak dibandingkan yang mereka peroleh pada musim dingin. Efek rumah kaca diuraikan dalam Bab 3, yang bertindak sebagai klep panas satu arah. Rumah kaca membiarkan gelombang pendek energi matahari masuk, tetapi menahan panas dari pelepasan (Gbr.7.6a). Massa termal di dalam bangunan kemudian menyerap panas ini, yaitu untuk mencegah siang hari menjadi terlalu panas dan menyimpannya untuk penggunaan pada malam hari (Gbr.7.6b). Perbandingan

Gambar.7.6a Efek rumah kaca mengumpulkan dan menangkap radiasi panas pada siang hari.

Gambar.7.6b Massa termal menyimpan panas untuk penggunaan pada malam hari.

Gambar.7.6c Bangunan pasif solar dengan massa masif yang rendah akan mengalami perubahan suhu ruang dalam yang besar selama 24 jam pada periode musim dingin.

Gambar.7.6d Bangunan pasif solar dengan massa masif yang tinggi akan mengalami perubahan suhu di dalam ruang yang kecil pada siang hari pada musim dingin.

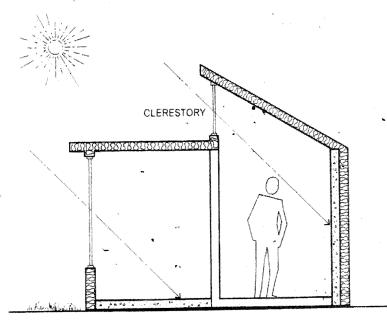
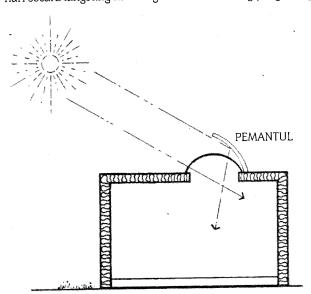
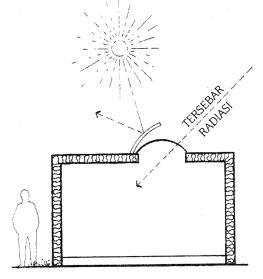
yang sesuai antara jumlah massa termal dan area kaca yang menghadap sisi selatan sangatlah kritis.

Grafik pada Gambar.7.6c menunjukkan efek area kaca pada sisi selatan dalam menangkap panas pada suatu bangunan dengan sistem pemadaman pemanasan secara konvensional. Kurva "A" adalah suhu ruang luar sepanjang hari yang cerah pada musim dingin. Kurva "B" menguraikan suhu ruang dalam pada sistem *direct-gain* dengan massa yang kecil. Perhatikan suhu ruang dalam akan berubah dari siang hari ke malam dengan perbedaan yang besar. Pada awal sore hari, suhu akan jauh di atas zona kenyamanan. Peningkatan area kaca pada sisi selatan tidak hanya akan menaikkan kurva, tetapi juga meningkatkan nilai perubahan suhu. Kemudian, pemanasan yang berlebihan pada sore hari akan mengakibatkan suhu udara menjadi lebih buruk.

Pada Gambar.7.6d, kita melihat beberapa kebaikan massa termal. Perhatikan bahwa suhu ruang dalam (kurva "C") hampir seluruhnya berada dalam zona ke-

nyamanan. Massa termal telah mengurangi amplitude dari pergerakkan suhu sehingga terjadi hanya sedikit kelebihan panas pada sore hari dan sedikit kelebihan dingin pada malam hari. Jadi, tugas seorang perancang adalah mendapatkan perpaduan yang tepat dari komposisi luasan area kaca pada sisi selatan bangunan dengan massa termal sehingga perubahan suhu ruang dalam berada dalam zona nyaman.

Karena bangunan berfungsi sebagai pengumpul panas secara langsung, seluruh isinya, seperti dinding, furnitur, dan buku bertindak sebagai massa termal. Bagaimanapun juga, isi bangunan pada umumnya tidaklah cukup dan harus ditambahkan dengan massa termal tambahan. Massa termal tambahan dapat berupa batu, air, atau sebuah bentuk material pengubah. Alternatif-alternatif ini akan dibahas lebih lanjut dalam bab ini.

Meskipun panas matahari dapat menghasilkan perpindahan panas ke ruangan pada sisi utara suatu bangunan, tetapi hal itu akan lebih baik untuk memasukkan radiasi matahari secara langsung dengan perangkat berupa jendela *clerectory* pada sisi selatan seperti terlihat pada Gambar. 7.6e. *Skylight*[2], meskipun tidak sebaik *clerestory*, masih dapat digunakan jika dilengkapi dengan sebuah pemantul, seperti terlihat pada Gambar.7.6f. Pemantul yang sama juga dapat menaungi beberapa cahaya matahari pada musim panas jika digerakkan ke

Gambar.7.6e Gunakan jendela *clerectory* untuk memasukkan radiasi matahari secara langsung ke ruang dalam atau ruang yang menghadap sisi utara.

Gambar.7.6f *Skylight* sebaiknya dilengkapi dengan alat pemantul untuk menjadikannya lebih efektif pada musim dingin.

Gambar.7.6g Alat pemantul yang sama juga dapat digunakan untuk menaungi cahaya matahari yang berlebihan pada musim panas.

posisi seperti ditunjukkan pada Gambar.7. 6g. Beberapa jenis pemantul tersedia di pasaran.

"Solar Hemicycle" milik *Frank L. Wraights* seperti telah disebutkan sebelumnya di atas merupakan sebuah contoh pendekatan pemanasan secara langsung yang baik dari seluruh sistem pasif, pemanasan langsung merupakan yang paling efisien jika jumlah energi yang dikumpulkan dan faktor biaya menjadi pertimbangan utamanya.

7.7 PANDUAN RANCANGAN UNTUK SISTEM PEMANASAN SECARA LANGSUNG

Area Kaca pada Sisi Selatan

Gunakan tabel 7.7A sebagai sebuah panduan dalam menentukan luasan area kaca pada sisi selatan. Tabel ini dibuat berdasarkan tujuh belas jenis daerah iklim seperti telah diuraikan dalam bab 5. Kolom 5 menunjukkan seberapa besar pemanasan dengan sistem pasif akan lebih efektif pada malam hari jika digunakan penyekat pada jendela atau ketika digunakan jenis jendela dengan tingkat efisiensi yang tinggi.

TABEL 7.7A *Aturan untuk Estimasi Luas Lapisan Kaca Bagian Selatan untuk Direct-Gain dan Dinding Trombe*

Iklim Daerah (see Chapter 5)	Kota Acuan	Area Kaca Bagian Selatan sebagai Persentase Area Lantai	Beban Pemanasan yang dibebankan sinar matahari (%)	
			Tanpa Insulasi Malam	dengan insulasi malam
1	Hartford, CT	35	19	64
2	Madison, WI	40	17	74
3	Indianapolis, IN	28	21	60
4	Salt Lake City, UT	26	39	72
5	Ely, NE	23	41	77
6	Medford, OR	24	32	60
7	Fresno, CA	17	46	65
8	Charleston, SC	14	41	59
9	Little Rock, AK	19	38	62
10	Knoxville, TN	18	33	56
11	Phoenix, AZ	12	60	75
12	Midland, TX	18	52	72
13	Fort Worth, TX	17	44	64
14	New Orleans, LA	11	46	61
15	Houston, TX	11	43	59
16	Miami, FL	2	48	54
17	Los Angeles, CA	9	58	72

[a]Gunakan luas lantai bagian bangunan yang akan mendapatkan keuntungan dari pemanasan sinar matahari dengan sistem *direct-gain*, atau dengan konveksi/pancaran dari bagian bangunan yang telah dipanaskan oleh sinar matahari.

TABEL 7.7B *Aturan untuk Estimasi Massa Termal yang Dibutuhkan dalam Sistem Direct-Gain*

Massa Termal	Tingkat Ketebalan (Inci)	Area permukaan kaca tiap Square foot (ft^2)
Batu atau beban yang diekspos terhadap radiasi matahari langsung	4 hingga 6	3
Batu atau beton yang diekspos terhadap radiasi matahari yang dipantulkan	2 hingga 4	6
Air	sekitar 6	sekitar 1/2

Catatan pada Tabel 7.7A

1. Tabel menyajikan luasan area kaca dalam ukuran yang optimum.
2. Jumlah luasan area kaca pada sisi selatan yang lebih kecil dibandingkan dengan yang tercantum pada tabel masih akan dapat menyuplai sejumlah panas yang cukup berarti.
3. Jumlah area kaca yang lebih besar dapat digunakan jika terjadi pemanasan berlebihan selama beberapa hari, tetapi meskipun demikian jumlah biaya yang dikeluarkan menjadi kurang efektif.
4. Harus disediakan penyimpan panas yang cukup.
5. Jendela harus terdiri dari kaca dua lapis, kecuali pada iklim yang sangat sejuk.
6. Jendela dengan tingkat efisiensi yang tinggi dengan pelapisan *low-e* dapat digunakan, bukannya menggunakan penyekat untuk malam hari (lihat Bab 15).
7. Bangunan harus tersekat dengan baik.
8. Selain dibutuhkan sejumlah besar pencahayaan untuk siang hari, berjemur, dan lain-lain, luas daerah kaca untuk pemanasan secara langsung tidak boleh melebihi 20 persen dari seluruh luas lantai. Pada kasus tersebut, di mana Tabel 7.7A menyarankan penggunaan area kaca lebih dari 20 persen, dapat digunakan dinding Trombe atau ruang

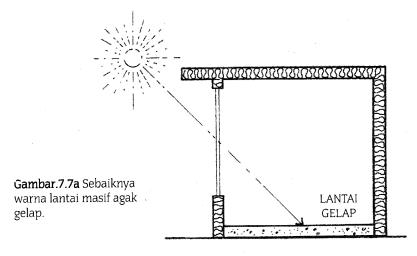
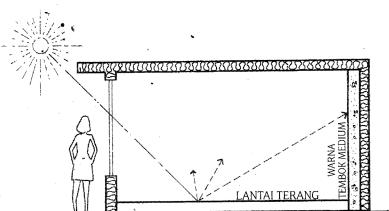
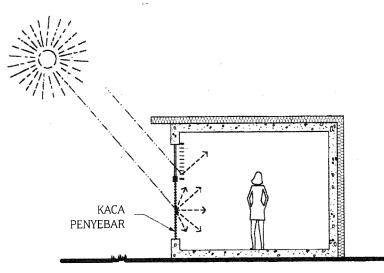
matahari untuk menyuplai tambahan area kaca.

Ukuran Massa Termal

Gunakan tabel 7.7B sebagai acuan untuk menentukan ukuran massa termal pada sistem pemanasan secara langsung. Ingatlah bahwa balok dan dinding beton, bata, atau batu harus memiliki ketebalan antara 4-6 inchi. Dari sudut pandang termal, segala sesuatu yang melebihi ketebalan 6 inchi hanya sedikit membantu dalam sistem pemanasan secara langsung. Selain itu, setiap massa termal tidaklah efektif jika tidak menerima secara langsung atau pantulan radiasi matahari.

Gambar.7.7a Sebaiknya warna lantai masif agak gelap.

Catatan untuk Tabel 7.7B

1. Perpaduan antara massa termal yang diekspos langsung dan tidak langsung ke arah matahari merupakan hal yang lazim.
2. Tabel menguraikan luas minimum area masif. Tambahan area masif akan menambah tingkat kenyamanan termal dengan mengurangi suhu yang berlebihan.
3. Meletakkan area masif sedekat mungkin dengan area lantai secara struktural merupakan alasan yang baik selain untuk pertimbangan termal.
4. Warna massa termal harus cukup gelap dan warna area nonmasif harus lebih terang untuk memantulkan radiasi matahari ke arah material masif yang gelap.
5. Jika area masif tersebar luas dalam ruang, kaca penyebar atau elemen penyebar harus digunakan. (Gbr.7.7c)

Gambar.7.7b Warna/pelapis akhir permukaan material nonmasif seharusnya berupa warna yang terang untuk memantulkan cahaya matahari ke material masif yang lebih gelap.

Gambar.7.7c Radiasi yang disebar akan menyalurkan panas lebih merata dalam ruang. Hal ini terutama lebih bermanfaat jika langit-langitnya masif.

6. Untuk informasi lebih lanjut mengenai massa termal, lihat subbab 7.17.

7.8 CONTOH

Sebuah rancangan sistem pemanasan langsung untuk bangunan dengan luas 1.000 ft^2 di Little Rock, Arkansas. Seperti terlihat pada Gambar.7.8.

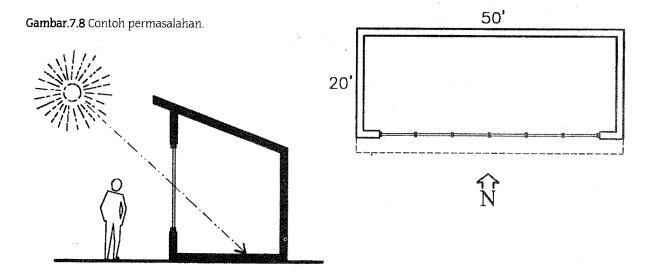
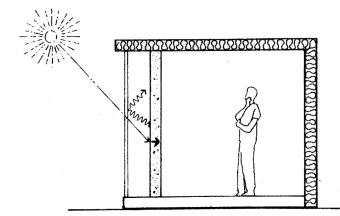
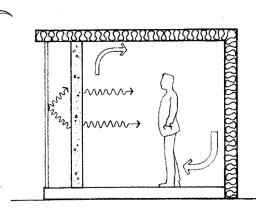
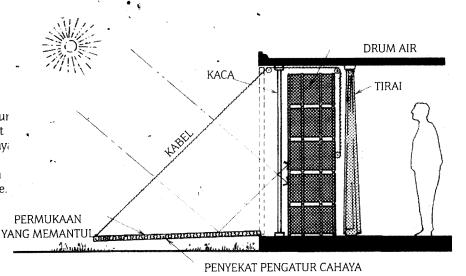
Tata Cara:

1. Tabel 7.7A menjelaskan kepada kita bahwa jika area kaca di sisi selatan adalah 19 persen dari luas lantai, lalu kita mengharapkan suplai energi matahari sebesar 62 persen dari pemanasan pada musim dingin (jika menggunakan jenis jendela dengan tingkat efisiensi yang tinggi atau jendela yang dilengkapi dengan penyekat untuk malam hari). Gunakan saran ini, kecuali ada alasan khusus untuk menggunakan area kaca dengan luasan yang lebih besar atau lebih kecil.
2. Luas area kaca pada sisi selatan berkisar antara 10 persen x 1.000 ft^2 = 190 ft^2.
3. Tabel 7.7B menjelaskan kepada kita bahwa kita akan membutuhkan 3ft^2 bagian masif/ft^2 bagian kaca jika bagian masif tersebut terekspos langsung ke arah matahari. Untuk itu dibutuhkan 190 x 3 = 570 ft^2. Jika kita menggunakan balok beton, kita mempunyai luasan area balok sebesar 1.000 ft^2, yang sebenarnya hanya dibutuhkan 570 ft^2 untuk menyimpan panas. Sisanya sebesar 430 ft^2 dapat ditutup dengan karpet jika sangat dibutuhkan.

7.9 SISTEM DINDING TROMBE

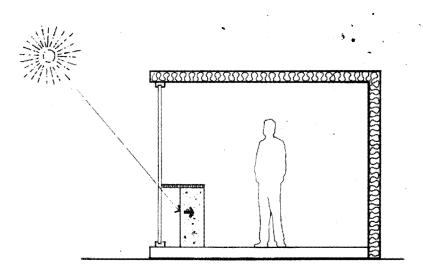
Dinding *Trombe* dinamakan setelah Profesor *Felix Trombe* mengembangkan teknik ini di Prancis pada tahun 1966. Pada sistem pasif ini, massa termal terdiri dari sebuah dinding yang berada di bagian dalam area kaca pada sisi yang menghadap selatan (Gambar. 7.9a). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, efek rumah kaca akan menangkap radiasi matahari. Karena permukaan dinding yang menghadap ke arah matahari dilapisi dengan lapisan khusus (kertas timah hitam) atau dicat dengan cat berwarna gelap, dinding ini menjadi cukup panas pada siang hari, yang menyebabkan panas mengalir ke dalam dinding. Karena dinding Trombe cukup tebal kira-kira berkisar antara 12 inchi dan waktu rambatnya cukup lama, panas tidak masuk ke ruang dalam sampai sore hari. Efek waktu rambat dinding masif ini dijelaskan dalam subbab 3.18. Jika ada cukup massa termal, dinding akan berperan sebagai pemancar panas sepanjang malam (Gbr.7.9b).

Jika yang dibutuhkan hanya panas matahari, sedangkan cahaya, dinding Trombe merupakan sistem yang dapat dipilih. Karena hal ini merupakan kejadian yang jarang, penggunaan dinding Trombe biasanya dikombinasikan dengan sistem pemanasan langsung. Pemanasan langsung merupakan bagian sistem yang mengantarkan panas pada pagi hari, cahaya fungsional, pemandangan, dan sinar matahari yang indah pada musim dingin. Sementara itu, dinding Trombe memancarkan panas untuk kebutuhan pada

Gambar.7.8 Contoh permasalahan.

Gbr.7.9a Dinding Trombe pada sistem pasif solar mengumpulkan panas tanpa memasukkan cahaya ke dalam ruang.

Gbr.7.9b Karena Dinding Trombe memiliki waktu penyimpanan sekitar 8-12 jam, sebagian besar panas akan dilepaskan pada malam hari.

Gbr.7.9c Potongan pada perur Baer menunjukkan penyekat terhadap alat pengatur cahaya ditutup dengan sebuah alat pemantul untuk menambah kemampuan dinding Trombe.

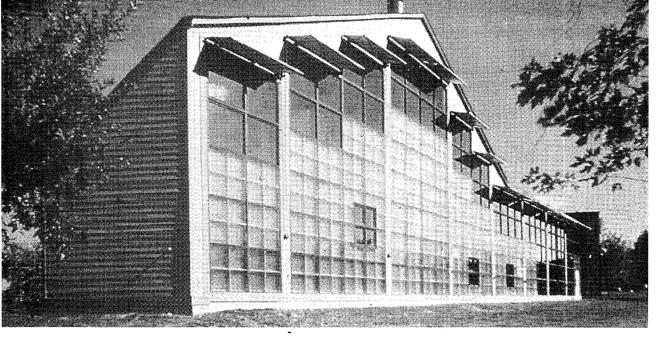
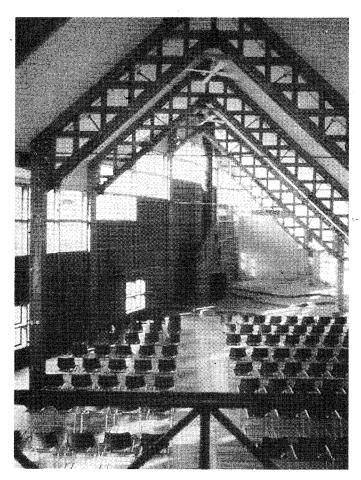
malam hari. Kombinasi sistem ini dapat memenuhi kebutuhan dan menjaganya dari kelebihan tingkat pencahayaan yang bisa menyebabkan silau. Ketika seseorang dengan cermat memilih kombinasi sistem ini dan tepat, tingkat suhu yang tepat dan kenyamanan secara visual mungkin didapatkan.

Meskipun dinding Trombe pada umumnya terbuat dari material masif, seperti beton, bata, batu, atau bata yang dikeringkan, hal ini juga dapat dibuat dari satu tangki air. Contoh yang klasik adalah rancangan Steve Baer, seorang pengusaha panas matahari untuk rumahnya sendiri di New Mexico. Ia menggunakan 55 galon drum yang ditumpuk, seperti terlihat pada Gambar.7.9c. Sisi drum yang menghadap kaca dicat berwarna hitam, sedangkan sisi yang menghadap ruang dalam di cat berwarna putih (semua warna kecuali semir warna metalik adalah penghantar radiasi panas yang baik). Sebuah penyekat pengatur cahaya di sisi luar menjaga panas di sepanjang malam pada musim dingin atau menolaknya sepanjang siang pada musim panas. Pengatur cahaya ini, ketika ia diletakkan di bagian bawah, juga akan berfungsi sebagai pemantul untuk menambah jumlah total radiasi matahari yang telah dikumpulkan. Pengatur cahaya dapat diletakkan di atas atau di bawah pada ruang dalam dengan menggunakan perangkat berupa kabel. Juga pada musim dingin yang sejuk di sore hari, ketika pemanasan tidaklah terlalu dibutuhkan, sebuah tirai dapat ditarik menutupi ruang dalam atau sisi drum untuk menunda transfer panas sampai saat dibutuhkan.

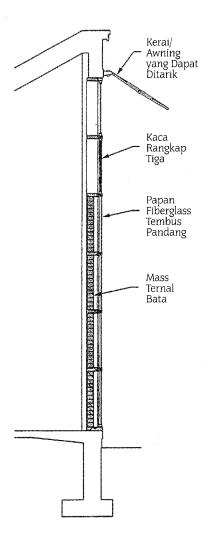
Gambar.7.9d Sebuah dinding Trombe dapat terdiri dari tabung-tabung vertikal yang diisi dengan air, tabung dapat berupa tabung buram, tembus cahaya, atau transparan *(Courtesy of and © Solar Component Corporation).*

Gambar.7.9e Dinding dengan ketinggian setengah dapat mengontrol masuknya cahaya langsung untuk pemanasan pada siang hari dan pencahayaan siang hari yang juga berfungsi menyimpan panas untuk penggunaan malam hari.

Seluruh dinding air terdiri dari tabung yang disusun vertikal. Jika digunakan tabung baja, tabung-tabung itu dapat dicat dengan warna gelap pada sisi yang menghadap kaca dan dengan warna terang pada sisi yang menghadap ruang dalam. Umumnya tabung dibuat dari bahan yang tembus cahaya atau plastik bening untuk memudahkan cahaya menembusnya (Gbr.7.9d). Airnya dapat dibiarkan bening atau diberi warna apa saja. Tabung bening sungguh indah, terutama pada saat tabung-tabung tersebut memantulkan cahaya. Percobaan telah membuktikan bahwa air yang bening sama efisiennya dengan air yang berwarna atau tempat penyimpanan yang buram ketika menyimpan panas. Perhatikan masing-masing tabung pada sisi pintu masuk utama dari *the Hood College Resource Management Center* yang dijadikan studi kasus pada bagian 17.5.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, perpaduan dinding Trombe dan pemanasan secara langsung merupakan solusi rancangan terbaik. Meskipun umumnya dinding trombe berupa dinding tinggi yang dipadukan dengan jendela, kadang-kadang dinding ini juga dapat berupa suatu dinding lindung (Gbr.7.9e). Penyusunan seperti terlihat pada Gambar.7.16b, dapat menambah pengumpulan cahaya pada pagi hari, menjaga kelebihan pemanasan pada sore hari, dan menyediakan ruang penyimpanan yang cukup untuk sepanjang malam.

The Shelly Ridge Girl Scout Center di dekat Philadelphia, Pennsylvania, merupakan contoh perpaduan antara dinding Trombe

Gambar.7.9f The Shelley Ridge Girl Scout Center dekat Philadhelpia, PA, dilengkapi dengan dua sistem baik pemanasan langsung maupun dinding trombe. Kaca digunakan untuk pemanasan langsung dan panel fiberglas digunakan untuk dinding Trombe. Awning diperpanjang untuk menaungi jendela dari pemanasan langsung pada musim panas.

Gambar 7.9g Jendela dengan pemanasan langsung untuk menyediakan pencahayaan pada siang hari, pemandangan ke luar, dan pemanasan pada pagi hari. Sementara itu, dinding trombe menyediakan panas di awal sore hari (foto oleh *Otto Bartzs/Esto)*.

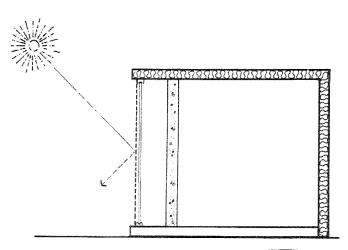
dan sistem pemanasan secara langsung yang sangat mengagumkan (Gbr. 7.9f).Karena kebanyakan aktivitas pramuka dilakukan pada siang hari dan sore hari, dinding Trombe dibuat dari bata dengan ketebalan hanya 4 inci sehingga menyebabkan kebutuhan waktu rambat yang pendek untuk pengiriman panas sepanjang sore dan petang hari. Ada banyak pemanasan langsung untuk pemanasan awal dan pencahayaan harian (Gbr. 7.9g). Karena Trombe yang tebalnya 4 inci terlalu tinggi untuk stabil, sebuah kisi-kisi kayu digunakan untuk menopang bata dan kaca (Gbr. 7.9h).[3] Kerai yang dapat digerakkan dipasang pada musim panas untuk menaungi seluruh jendela yang mendapat pemanasan langsung. Sore hari pada musim panas, bagaimanapun akan lebih dingin jika dinding Trombe juga dinaungi. Layar yang tergantung di muka kaca sepanjang musim panas menjadi sangat efektif karena layar ini

Gambar.7.9h Karena dinding trombe yang tipis, sebuah bingkai kayu digunakan untuk menopang baik bata maupun dinding jendela (*Courtesy Bohlin Cywinski Jackson Architects).*

menaungi dinding Trombe dari pemanasan langsung, penyebaran, dan pemantulan radiasi (Gbr.7.9i).

Girl Scout mempelajari metode dan sistem penyinaran matahari pasif pertama kali dengan menggunakan bangunannya. Mereka mempelajari banyak pelajaran dari area lobi yang mendapatkan pemanasan secara langsung (daerah #4 pada Gbr.7.9j), di mana kaca berwarna [4]*gnomon* dan penanda waktu yang terpasang pada lantai menghasilkan sebuah mesin matahari.

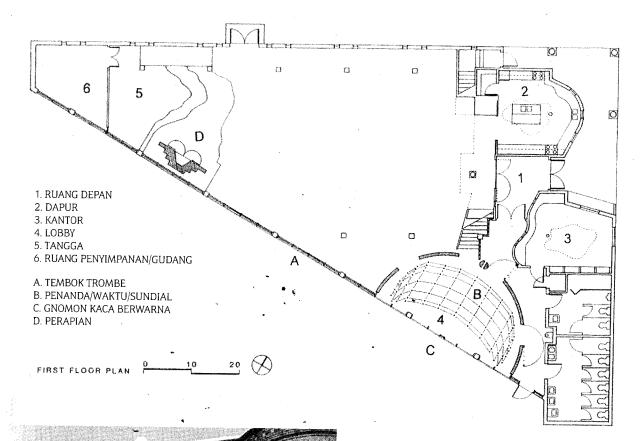
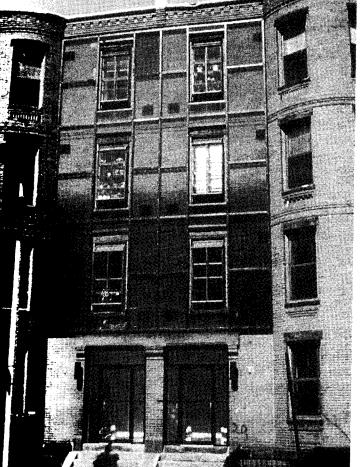
Beberapa dinding *Trombe* pada awalnya memiliki lubang anginan bagian ruang dalam untuk menjaganya dari pemanasan yang berlebihan pada musim panas. Sekarang menjadi jelas bahwa lubang angin ini tidak bekerja dengan baik, baik pada musim panas maupun pada musim dingin. Sebagai gantinya, pemanasan langsung harus menyuplai panas pada siang hari pada musim dingin dan menaungi sisi luar untuk mencegah pengumpulan panas yang berlebihan pada musim panas.

Dari sisi luar, dinding *Trombe* kadang tidak dapat dibedakan dari jendela. Dalam kondisi pencahayaan tertentu, bagaimanapun dinding yang gelap dapat terlihat. Jika hal ini tidak diinginkan, kaca bertekstur mungkin dapat digunakan, baik untuk menyembunyikan dinding yang gelap maupun untuk menyajikan ekspresi estetik dalam membedakan dinding Trombe dari jendela biasa. Karena warna gelap sama efektifnya dengan warna hitam, beberapa dinding Trombe menggunakan kaca bening untuk memperlihatkan bata gelap, batu gelap alami, tabung air, atau sistem massa termal yang menarik lainnya.

Namun demikian, tidak semua aplikasi digunakan untuk bangunan baru karena dinding Trombe lebih cocok untuk pekerjaan renovasi. Bangunan lain yang terbuat dari batu lebih menguntungkan dengan tutup dalam beberapa hal karena memiliki dinding kaca yang dibuat melampaui fasade bagian selatan, yang kemudian menjadi dinding Trombe (Gambar 7.9k). Keuntungan yang lain meliputi kulit bangunan yang lebih tahan cuaca, *insulasi termal* yang lebih besar, dan kadang-kadang, fasade bangunan yang lebih menarik.

Gambar.7.9i Pada iklim panas, sebuah layar penutup seharusnya dipasang sebagai tirai kaca pada dinding trombe selama musim panas.

1. RUANG DEPAN
2. DAPUR
3. KANTOR
4. LOBBY
5. TANGGA
6. RUANG PENYIMPANAN/GUDANG

A. TEMBOK TROMBE
B. PENANDA/WAKTU/SUNDIAL
C. GNOMON KACA BERWARNA
D. PERAPIAN

FIRST FLOOR PLAN 0 10 20

Gambar. 7.9j Pada lobi sebuah kaca patri *gnomon* sebagai penanda waktu yang terpasang pada lantai menghasilkan sebuah mesin matahari yang berukuran satu ruangan. Bentuk segitiga bangunan membuat dinding bagian selatan menjadi yang paling besar di antara ketiga dinding yang ada. (Dari *Bohlin Cywinski Jackson Architects*)

Gambar.7.9k Tambahan kaca dapat mengubah dinding lama menjadi pengumpul panas, seperti pada Boston Rowhouse ini. (foto sampul *Solar Age*, Agustus 1981-*Solar Vision Inc 1981*)

Sistem dinding Trombe juga dikenal sebagai sistem dinding penyimpan panas. Namun, penulis lebih cenderung menyebutnya sebagai dinding Trombe sebab tidak semua dinding termal merupakan bagian dari sistem ini, hanya dinding yang berada pada bagian dalam kaca.

TABEL 7.10 *Aturan untuk Estimasi Ketebalan yang Dibutuhkan dari Sebuah Dinding Trombe*

Massa Termal	Tingkat ketebalan (inci)	Area permukaan glazing per Square Foot (ft^2)
Batako (tanah kering)	6 hingga 10	1
Beton atau batu bata	10 hingga 16	1
Air*	8 atau lebih	1

*Jika digunakan pipa-pipa, mereka harus minimal memiliki diameter 10 inci.
Sumber: *Solar Age*, Mei 1979, hal. 64)

7.10 PANDUAN RANCANGAN UNTUK SISTEM DINDING *TROMBE*

Area Dinding Kaca yang Menghadap Sisi Selatan

Tabel 7.7A digunakan untuk dinding Trombe, seperti digunakan pada sistem pemanasan langsung. Total luas area kaca pada sisi selatan dapat dibagi antara dua sistem sesuai keinginan perancang.

Ukuran Massa Termal

Setiap ft^2 dari area kaca pada sisi selatan harus sebanding dengan 1 ft^2 massa termal. Bagaimanapun tebal massa termal harus lebih tebal daripada ketebalan yang digunakan pada sistem pemanasan secara langsung. Ketebalan dari beberapa jenis material diuraikan pada Tabel 7.10. Untuk hasil yang terbaik, massa termal seharusnya dilapisi dengan lapisan khusus yang berwarna hitam dengan tingkat efisiensi yang tinggi, sedangkan sisi yang menghadap ruang dalam dapat menggunakan warna apa saja, termasuk putih. Jika tidak menggunakan lapisan khusus, disarankan untuk menggunakan kaca dua lapis.

7.11 CONTOH

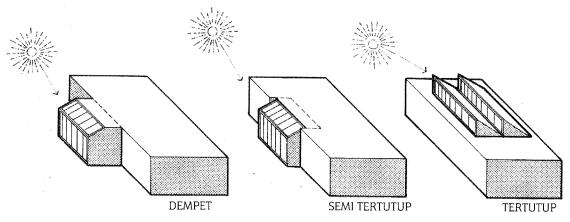
Rancangan ulang dari bangunan pada contoh 7.8 menggunakan setengah sistem dinding *Trombe* dan setengah pemanasan langsung.

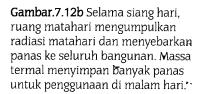
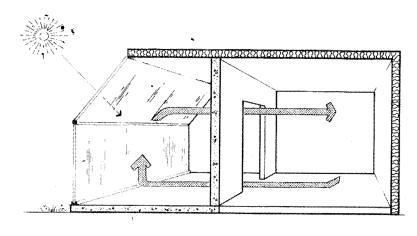
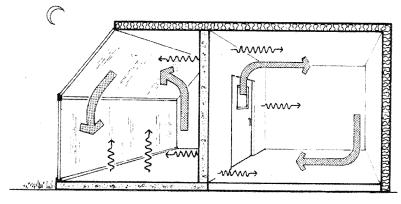
Tata cara:

1. Total kebutuhan luas area kaca pada sisi selatan seperti diambil dari Tabel 7.7A: 19 persen x 1.000 = 190 ft^2
2. Karena setengah dari area kaca akan menggunakan pemanasan secara langsung, dinding *Trombe* akan membutuhkan 50 persen x 190 ft^2 = 95 ft^2
3. Jika kita menggunakan material bata pada dinding *Trombe*, dinding ini akan memiliki luas 95 ft^2 dan ketebalan sekurang-kurangnya 10 *inci* (dari Tabel 7.10). Balok untuk pemanasan secara langsung akan memiliki luas 95 ft^2 x 3 = 285 ft^2 (Tabel 7.7B).
4. Umpama kita menggunakan dinding dengan tinggi 3 ft dan panjang 32 ft (96 ft^2 seperti terlihat pada Gambar.7.9e). Jangan tutupi sisi dalam dinding dengan perabotan karena dinding ini harus berfungsi sebagai radiator pada malam hari.
5. Jendela di atas dinding sebaiknya juga memiliki ketinggian 3 ft dan panjang 32 ft untuk menyuplai kebutuhan 95 ft^2 area kaca pada sistem pemanasan langsung.

7.12 RUANG MATAHARI

Ruang matahari adalah ruang yang dirancang untuk mengumpulkan panas, sama seperti halnya menyediakan ruang tinggal sekunder. Konsep ini diperoleh dari rumah kaca yang populer pada abad ke-18 dan ke-19. Sampai akhirnya, elemen rancangan ini biasa disebut sebagai rumah kaca tempelan, tetapi ini merupakan nama yang kurang tepat karena menanam tanaman bukanlah fungsi utamanya. Istilah yang lebih sesuai adalah "solarium" atau *"sun room"*, tetapi sebutan *"sun space"* (ruang matahari) terdengar menjadi lebih populer dalam sistem penyinaran matahari pasif, bukan hanya efisiensinya dalam pemanasan, tetapi lebih dari itu karena fasilitas-fasilitas yang diberikan.

Ruang matahari adalah ruang hidup tambahan yang patut dipertimbangkan karena suhu secara khas dibiarkan untuk berubah dari 90°F sepanjang siang hari yang terang menjadi 50°F sepanjang malam pada musim dingin. Di sini kita

Gambar.7.12a Kemungkinan hubungan antara ruang matahari dan bangunan utama.

Gambar.7.12b Selama siang hari, ruang matahari mengumpulkan radiasi matahari dan menyebarkan panas ke seluruh bangunan. Massa termal menyimpan banyak panas untuk penggunaan di malam hari.

Gambar. 7.12c Pada malam hari, ruang matahari harus cukup terisolasi dari bangunan utama untuk menjaga dari terjadinya penyaluran energi pada bangunan utama.

mempunyai pengumpul panas matahari yang efektif yang juga dapat digunakan sebagai ruang tinggal yang menarik, tetapi tidaklah sepanjang waktu. Sebagai konsekuensinya, ruang matahari harus dirancang sebagai zona termal terpisah yang dapat disekat dari sisa bangunan. Gambar.7.12a memperlihatkan 3 cara bagaimana sebuah ruang matahari dihubungkan dengan bangunan utama.

Dalam Gambar.7.12b kita melihat sebuah ruang matahari mengumpulkan panas matahari sepanjang hari. Kebanyakan dari panasnya dibawa ke dalam bangunan melalui pintu, jendela, dan lubang angin. Sisa panas yang ditangkap akan diserap oleh massa termal dalam ruang matahari seperti *slab* lantai dan dinding batu pada umumnya. Pada malam hari seperti terlihat pada Gambar.7.12c, pintu, jendela, dan lubang angin ditutup untuk

menjaga agar bagian utama bangunan tetap hangat. Panas dalam dinding masif pada umumnya menjaga kenyamanan ruang dan mencegah ruang matahari membeku.

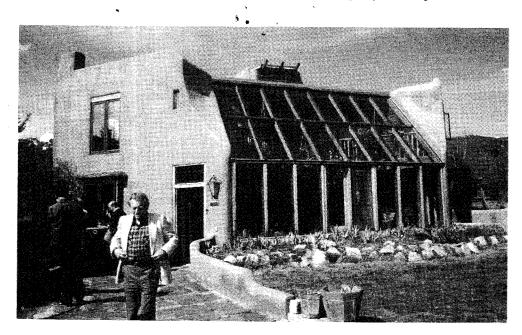
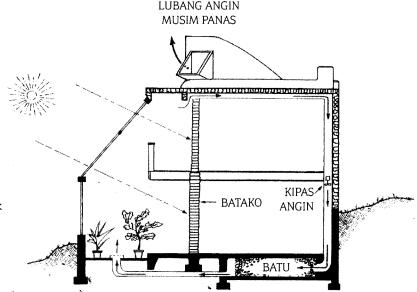
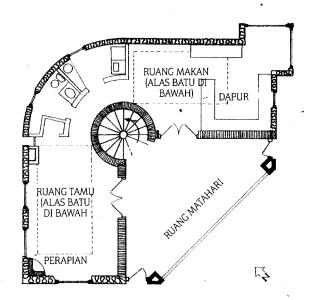
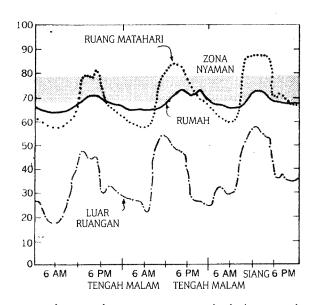
Karena ruang matahari secara umum tidak disekat dan dinaungi, ruang ini seharusnya tidak dipanasi atau didinginkan. Pemanasan dan pendinginan dengan menggunakan mesin membutuhkan begitu banyak energi di mana sebuah ruang matahari cenderung menjadi sebuah beban daripada menjadi penghasil energi. Perubahan suhu yang besar sangatlah diinginkan, dan ketika suhu menjadi sangat ekstrem, ruang matahari harus dikosongkan sementara. Namun, sebuah rancangan ruang matahari yang baik seharusnya dapat digunakan sepanjang tahun dengan nyaman.

7.13 RUMAH *BALCOMB*

Salah satu ruang matahari yang terkenal (Gbr.7.13a) adalah milik J. Douglas Balcomb, seorang peneliti terkenal dalam sistem penyinaran matahari pasif. Karena bangunan ini terletak di daerah bersejarah Santa Fe, New Maxico, batako digunakan untuk dinding biasa (Gbr.7.13b). Pintu dua lapis memungkinkan mengalirkan arus panas untuk memanaskan rumah sepanjang hari, tetapi juga menutup ruang matahari pada malam hari (Gbr. 7.13c). Juga pada malam hari dinding bata kering memanasi baik rumah maupun ruang mataharinya. Ruang matahari tidak hanya menyediakan 90 persen kebutuhan pemanasan, tetapi juga sebuah ruang yang menyenangkan sebagai tempat menghabiskan waktu pada sore hari.

Strategi pemanasan lain yang digunakan di sini adalah dengan benar-benar menjadikannya sebagai sebuah cangkokan bangunan matahari. Ini merupakan bagian dari matahari aktif karena kipas mendorong udara panas, mengumpulkannya pada langit-langit ruang matahari untuk dialirkan melalui alas batu di bawah *slab* lantai pertama. Strategi ini tidak memberikan panas cukup banyak, tetapi mampu memberikan kenyamanan dalam bangunan.

Pada langit-langit terdapat lubang angin yang cukup besar untuk memberikan jalan ke luar bagi udara panas pada saat terjadi pemanasan yang berlebihan pada musim panas dan musim gugur (Gbr.7.13b). Sayangnya, lubang udara pada umumnya tidak cukup besar untuk mencegah pemanasan yang berlebihan, dan pada kebanyakan musim, menaungi kaca merupakan hal yang cukup penting. Karena menaungi kaca miring lebih rumit dibandingkan dengan menaungi kaca vertikal, kemiringan kaca menjadi perhatian utama dalam panduan perancangan ruang matahari.

Gambar.7.13d menggambarkan tampilan rumah *Balcomb* selama tiga hari pada musim dingin. Tampilan seperti itu merupakan ciri rancangan sistem ruang matahari yang baik. Dengan catatan bahwa suhu udara di luar ruang cukup sejuk, dengan suhu rata-

Gambar.7.13a Perumahan Balcomb di Santa Fe merupakan salah satu bangunan ruang matahari pertama dan paling menarik.

Gambar.7.13b Potongan rumah Balcomb menggambarkan batako jemur yang umum digunakan untuk menyimpan panas.

Gambar.7.13c Denah rumah Balcomb menunjukkan bagaimana bangunan mengelilingi ruang matahari.

Gambar.7.13d Kemampuan yang baik dari rumah maupun ruang matahari dapat terlihat di sini untuk jangka waktu tiga hari yang cerah, tetapi dingin pada musim dingin.

rata di bawah 18°F. Suhu ruang matahari mengayun cukup lebar, dengan suhu bawah 58°F dan atas 88°F. Di sisi lain, rumah tersebut cukuplah nyaman, dengan suatu ayunan suhu yang rendah, yaitu dari suhu bawah berkisar antara 65°F ke suhu atas 74°F. Grafik di atas menunjukkan karakter yang berbeda dari dua zona termal. Meskipun penambahan alat bantu pemanasan hanya dalam jumlah kecil, tetapi mampu menciptakan kenyamanan yang lengkap di dalam rumah, ruang matahari selalu membiarkan terjadinya ayunan temperatur yang besar.

7.14 PANDUAN RANCANGAN RUANG MATAHARI

Kemiringan Pasangan Kaca

Untuk memaksimalkan pemanasan matahari pada daerah *continental* Amerika Serikat, kemiringan kaca harus berada antara 50 derajat dan 60 derajat, seperti

terlihat dalam Gambar.7.14a. Bagaimanapun, dari beberapa sudut pandang mengenai keamanan, aliran air, dan yang terpenting, naungan matahari, posisi kaca vertikal merupakan yang terbaik (Gbr.7.14b). Sebuah persetujuan, seperti terlihat dalam Gambar. 7.14c, akan terbiasa bekerja dengan baik. Pada iklim yang panas, saat naungan untuk mencegah pemanasan yang berlebihan sangat penting, kaca vertikal umumnya merupakan yang terbaik. Strategi naungan akan dijelaskan lebih detail pada Bab 9.

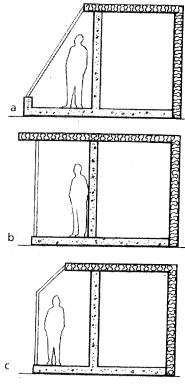
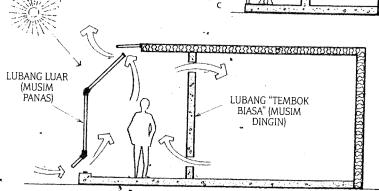
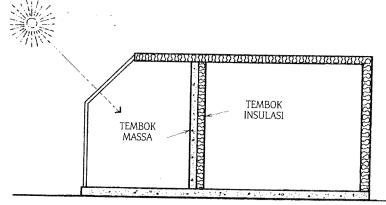
Jika kaca ingin digunakan pada sisi timur dan barat, sebaiknya gunakan kaca dalam ukuran yang sangat kecil. Pemasangan kaca seperti itu merupakan liabilitas berkaitan dengan panas pada kedua musim yaitu musim dingin dan panas.

Daerah Pelapis Kaca

Gunakan Tabel 7.7A untuk menetapkan luas minimum kaca yang diinginkan untuk total fasade bagian selatan. Karena ruang matahari sering diukur selain dari pertimbangan termal, luas bidang kaca yang dibutuhkan mungkin lebih besar dari yang disarankan pada Tabel 7.7A. Hal ini dapat diterima karena pemanasan pada ruang matahari akan memberikan pengaruh yang lebih kecil dibandingkan pada pemanasan langsung dengan sistem dinding *Trombe*.

Ukuran Lubang Angin

Untuk mencegah pemanasan ruang yang berlebihan, khususnya pada musim panas dan musim gugur, pengadaan lubang angin yang menghubungkan ruang matahari dan ruangan lain sangatlah dibutuhkan, seperti ditunjukkan pada Gambar. 7.14d. Lubang ventilasi yang kecil sebaiknya berkisar antara 5 persen dari luas bidang kaca pada sisi selatan dan lubang pembuangan angin pada bagian atas harus berkisar antara 5 persen juga. Bukaan yang lebih kecil akan cukup jika menggunakan alat *exhaust fan*.

Gambar.7.14a-c Variasi kemiringan kaca ruang matahari (a) 50-60 (b) vertikal (c) kombinasi antara poin (a) dan (b). Pada kebanyakan kasus, kaca vertikal memberikan performa terbaik sepanjang tahun.

Gambar.7.14d Untuk menahan pemanasan yang berlebihan pada musim panas, ruang matahari harus dilengkapi dengan bukaan ke ruang luar. Ventilasi ruang dalam hanya digunakan pada musim dingin dan memiliki beberapa fungsi sebagai pintu dan jendela.

Gambar.7.14e Pada iklim yang ekstrem, antara ruang matahari dan bangunan utama harus dilengkapi dengan penyekat berupa dinding penyekat.

TABEL 7.14 *Aturan untuk Estimasi Kebutuhan Massa Termal di Dalam Sistem Ruang Matahari*

Massa Termal	Tingkat Ketebalan (inci)	Area permukaan glazing per square foot (ft^2)
Dinding Batu Biasa (tidak terinsulasi)	6 hingga 10	1
Dinding Batu biasa (terinsulasi)[a]	10 hingga 16	1
Air[b]	8 atau lebih	1

[a]Karena massa ini eksklusif terhadap ruang matahari, sebagian dari massa tambahan akan diperlukan untuk bangunan utama.

[b]Gunakan sekitar 2 galon air untuk setiap ft_ lapisan kaca. Sumber: *Solar Age*, Juni, 1984, hlm.32.

TABEL 7.15 *Perbandingan Sistem Pemanasan Matahari Pasif*

Sistem	*Keuntungan*	*Kerugian*
Direct-gain (Pengambilan Langsung)	- Mempromosikan penggunaan jendela berukuran besar - Paling murah - Paling efisien - Dapat secara efektif menggunakan *clerestory* dan *skylight* - Pencahayaan alami dan pemanasan dapat digabungkan sehingga membuat sistem ini cocok untuk bangunan sekolah, perkantoran yang kecil, dll. - Fleksibel dan terbaik saat total luas pelapis kaca kecil	- Kebanyakan cahaya dapat menghasilkan silau dan pemudaran pada warna - Lantai penyimpan termal harus tidak dilapisi oleh karpet - Hanya lukisan yang kecil dengan jumlah yang sedikit dapat dipajang pada dinding massa termal - Pemanasan yang berlebihan dapat terjadi jika kurang perhatian - Pergerakan suhu yang harus ditoleransikan cukup besar (sekitar 10°F)
Dinding Trombe	- Memberi tingkat kenyamanan termal yang tinggi - Akan bagus jika berjalan bersamaan dengan sistem *direct-gain* untuk membatasi tingkat pencahayaan - Mudah untuk mengubah rancangan pada dinding yang sudah ada - Biaya sedang - Bagus untuk beban panas yang besar	- Lebih mahal daripada sistem *direct-gain* - Lapisan kaca yang ada lebih sedikit untuk pemandangan dan pencahayaan alami - Kurang baik untuk iklim berawan
Ruang Matahari	- Sebuah elemen yang sangat menarik (estetika) - Tambahan ruang tinggal - Dapat berfungsi sebagai rumah kaca - Sangat cocok untuk bangunan residensial atau ruang publik seperti atrium, lobi, restoran, dll.	- Sistem paling mahal - Paling tidak efisien

Untuk pemanasan rumah pada musim dingin, bukaan dalam bentuk pintu, jendela, atau ventilasi udara dibutuhkan pada dinding biasa yang berada di antara ruang matahari dan rumah utama. Total luas dari berbagai kombinasi bukaan-bukaan ini harus ditambah dengan minimum 10 persen dari luas bidang kaca. Bukan yang lebih besar akan lebih baik.

Ukuran Massa Termal

Ukuran massa termal tergantung pada fungsi ruang matahari. Jika fungsi utamanya sebagai pengumpul panas, di sana seharusnya berada massa termal yang kecil. Dengan demikian, sebagian besar panas berakhir di ruangan rumah. Di sisi lain, jika ruang matahari sebagai ruang yang dimanfaatkan dengan suhu yang rendah, maka area masif harus lebih banyak.

Solusi yang terbaik untuk daerah iklim sedang adalah dengan sebuah dinding penyimpan panas biasa, seperti terlihat pada Gambar.7.12b. Pada iklim panas dan dingin yang ekstrem, mungkin dibutuhkan suatu penyekat rumah yang lengkap dari ruang matahari. Dalam kasus ini, sebuah penyekat dari dinding batu yang sedikit masif dapat digunakan seperti terlihat pada Gambar. 7.14e. Ketika panas dibutuhkan, pintu, jendela, atau lubang angin dibuka. Ketika ruang matahari perlu disekat dari bangunan utama, bukaan-bukaan kemudian ditutup dan dinding penyekat berfungsi sebagai penahan panas. Dengan tipe dinding yang sama, air atau bentuk material pengganti lainnya dapat digunakan dengan

efisien selain material batu sebagai penyimpan panas. Untuk aturan dalam menentukan ukuran massa termal dalam ruang matahari dapat dilihat pada Tabel 7.14.

7.15 PERBANDINGAN DARI KETIGA SISTEM UTAMA PEMANASAN PASIF

Tabel 7.15 membandingkan ketiga sistem utama dalam pemanasan matahari secara pasif dengan menyebutkan keuntungan utama dan kerugiannya dengan masing-masing pendekatan.

Gambar.7.16a Kaca vertikal pada sisi selatan selalu menjadi pilihan terbaik sebab mampu mentransmisi radiasi panas secara maksimum pada musim dingin dan minimum pada musim panas (dikutip dari buku *Work Book for Workshop on Advanced Passive Solar Design, by J. Douglas Balcomb and Robert Jones © Douglas Balcomb 1987).*

7.16 PERTIMBANGAN UMUM UNTUK SISTEM PEMANASAN PENYINARAN MATAHARI PASIF

Ulasan berikut berdasarkan pada seluruh sistem pasif di atas.

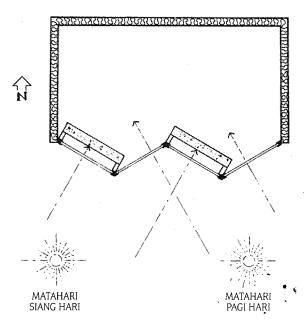
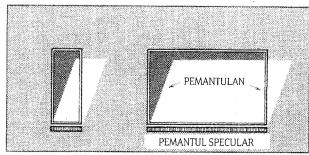
Orientasi

"Faktor orientasi berpengaruh sebesar 80 persen pada rancangan penyinaran matahari pasif" merupakan pernyataan *Doug Balcomb*, seorang peneliti mengenai matahari yang sangat terkenal. Pada umumnya bidang kaca yang menerima panas diarahkan ke sisi selatan. Dalam banyak kasus, orientasi ini memberikan naungan pada musim panas. Pada Gambar.7.16a, dijelaskan bagaimana radiasi matahari disalurkan secara maksimal pada musim dingin dan minimal pada musim panas melalui sebuah jendela vertikal di sisi selatan.

Kondisi ideal ini tidak selalu benar untuk orientasi yang lain. Catat bagaimana kurva horizontal, jendela di sisi timur barat dan sisi utara mengindikasikan pengumpulan panas yang minimal pada musim dingin dan maksimal pada musim panas. Siapa yang menginginkan hal tersebut? Orientasi ke arah selatan bukan saja lebih baik, tetapi hal ini merupakan yang terbaik. Pada musim dingin, bidang kaca di sisi selatan mengumpulkan sekitar 3 x radiasi matahari dari radiasi yang dikumpulkan oleh pengumpul panas yang diletakkan di sisi timur dan barat, dan pada musim panas pengumpul kaca pada sisi selatan hanya mengumpulkan radiasi panas sekitar 1/3 x dibanding yang dikumpulkan pada sisi timur dan barat.

Karena kenyataan menunjukkan bahwa orientasi pada sisi selatan tidak selalu memungkinkan, sangatlah bermanfaat untuk memahami bahwa kaca penangkap panas masih tetap dapat bekerja dengan baik walaupun orientasinya diputar sejauh 20 derajat ke arah timur atau barat dari posisi selatan. Meskipun demikian, pada penyimpangan sampai sejauh 45 derajat dari sisi selatan, pemanasan pasif masih dapat bekerja dengan cukup baik.

Untuk kondisi khusus kadang sisi selatan tidak selalu yang terbaik. Perhatikan contoh berikut.

1. Pada bangunan sekolah, yang membutuhkan pemanasan pada pagi hari dan sedikit pemanasan pada akhir sore dan malam hari, seharusnya pengumpul panas diarahkan pada posisi sekitar 30 derajat ke arah timur.
2. Kadang dibutuhkan sebuah sistem kombinasi, seperti halnya pada bangunan sekolah, di mana masing-masing memiliki orientasi yang berbeda. Sebagai contoh, solusi yang ditampilkan pada Gambar. 7.16b pada pagi hari pema-

Gambar.7.16c Pemantul *specular* pada jendela yang sempit efisiensinya lebih kecil dibandingkan pada jendela yang besar. Diagram menunjukkan bagaimana cahaya matahari sore dipantulkan dari jendela pada orientasi arah selatan menuju jendela pada sisi timur.

Gambar.7.16b Tampak denah sebuah kombinasi sistem antara pemanasan langsung dan dinding Trombe untuk mendapatkan pemanasan di pagi hari dan untuk menahan pemanasan berlebihan di sore hari.

nasan akan diperoleh dengan cepat melalui pemanasan langsung. Dan pada sore hari panas berlebih dapat dicegah dengan menggunakan penyimpan radiasi matahari untuk pemanfaatan pada malam hari.

3. Pada daerah yang berkabut dan mendung di pagi hari, pengumpul panas diarahkan ke barat daya.
4. Bangunan perumahan pada umumnya (contoh beberapa pemukiman, di mana tak seorang pun berada di dalam rumah pada siang hari) seharusnya pengumpul panas diarahkan pada sudut 10 derajat ke arah barat dari posisi selatan.
5. Untuk menghindari bayang-bayang bangunan tetangga, pohon, dan lain-lain, perubahan arah sudut ke arah timur dan barat dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan kita.

Denah

Denah sebaiknya dirancang untuk mendapatkan keuntungan dari peredaran harian matahari (Gbr.15.5f). Bangun pada pagi hari dan menikmati sarapan pagi di meja dengan berlimpahan cahaya matahari sangatlah menyenangkan, baik secara fisiologis maupun psikologis. Pada sore hari bersantai dalam sebuah ruang tamu atau ruang keluarga yang dipenuhi cahaya matahari, pada sisi selatan atau barat daya bangunan merupakan kenyamanan yang luar biasa. Telah terdapat bukti ilmiah, yang hingga kini masih berkembang bahwa dengan mendukung irama *circadian* alami kita akan terjadi peningkatan pada kesejahteraan kita.

Sebarkan secara proporsional kaca yang menghadap selatan pada seluruh bangunan secara proporsional untuk menghindari tidak adanya cahaya yang masuk pada masing-masing ruangan. Gunakan *clerestory* untuk membawa bagian selatan yang tereks-pos menuju ruangan bagian utara.

Kemiringan Kaca

Meskipun kemiringan kaca yang optimum untuk pengumpulan di Amerika Serikat adalah 55 derajat, kaca dengan posisi vertikal selalu lebih diminati. Kaca vertikal cenderung lebih murah, aman, dan cenderung lebih mudah untuk dinaungi baik dari ruang luar maupun dari ruang dalam dan lebih mudah untuk pemasangan penyekat panas malam hari, dan yang utama dapat mengumpulkan panas lebih banyak ketika salju bertindak sebagai reflektor.

Naungan

Pemanasan pasif dapat menjadi kekurangan dalam periode di mana terjadi pemanasan secara berlebihan pada setiap tahunnya jika pada sistem ini tidak terdapat

naungan yang cukup memadai. Bukan hanya untuk menolak sinar matahari langsung, tetapi juga menolak sinar matahari yang berupa pantulan dan seharusnya juga dapat menahan radiasi yang tersebar. Masalah pemantulan panas adalah panas yang sangat tajam pada daerah kering. Di samping itu, radiasi yang disebarkan sangatlah kritis pada daerah yang lembap. Pembahasan lengkap mengenai strategi dalam memberi naungan dibahas pada Bab 9.

Pemantul

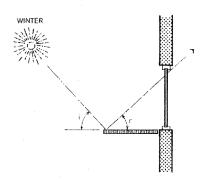
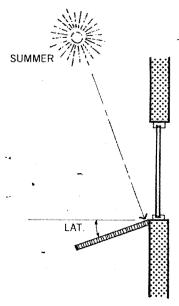
Pemantul ***specular*** ruang luar (seperti cermin) mampu menambah jumlah panas matahari yang dikumpulkan tanpa adanya kekurangan yang terjadi jika kita menggunakan area bidang kaca yang lebih luas. Baik pada pelepasan panas pada musim dingin maupun pengumpulan panas pada musim panas semuanya dapat diminimalkan dengan menggunakan pemantul dibandingkan dengan penggunaan jendela yang besar untuk menambah pengumpulan panas. Pemantul *specular* juga sangat menguntungkan untuk perancangan pencahayaan pada siang hari, yang akan dibahas lebih lanjut pada Bab 13. Namun, pemantul *specular* tidaklah murah, dan sedikit kurang efisien jika digunakan pada jendela dengan ukuran yang kecil. (Gbr.7.16c)

Karena pemantul *specular* memantulkan cahaya sehingga sudut datang sama dengan sudut pantul, panjang pemantul dapat dihitung dengan sinar-sinar matahari yang menyentuh puncak jendela (Gbr.7.16d). Untuk sudut datang digunakan sudut *latitude* matahari pada tanggal 21 Desember pukul 12 siang. Sudut ini diperoleh dari diagram jalur matahari yang dapat ditemukan pada Lampiran A dan B.

Untuk mencegah pengumpulan panas yang tidak diinginkan, seseorang harus memindahkan pemantul *specular* atau memutarnya ke arah luar pada musim panas. Jika pemantul tidak dapat dipindahkan, setidaknya alat ini harus dapat diputar sehingga cahaya matahari tidak dipantulkan ke jendela. Kemiringan sudut harus sama dengan sudut *latitude* (Gbr.7.16e).

Pemantul yang mampu menyebarkan cahaya juga menguntungkan, tetapi ukurannya harus lebih besar daripada jenis pemantul *specular* karena hanya sebagian kecil dari cahaya yang dipantulkan yang mengarah ke jendela. Di daerah turunnya salju bisa sangatlah ideal karena daerahnya yang besar, kehadiran yang musiman dan "harga yang murah." Meskipun demikian, beton dengan warna yang terang dan tanpa kerikil memiliki tingkat pantulan yang sangat tinggi, ia juga masih sangat menguntungkan jika digunakan pada daerah yang luas.

Konservasi

Jendela dengan performa yang baik atau penyekat panas untuk malam hari pada jendela matahari sangatlah disarankan. Di kebanyakan negara, cara ini dapat dengan jelas menunjukkan keandalan sistem pemanasan pasif pada musim dingin. Penyekat panas untuk malam hari juga dapat digunakan untuk menolak

Gambar.7.16d Panjang pemantul *specular* ditentukan oleh titik jatuhnya sinar matahari menyentuh jendela.

Gambar.7.16e Ketika musim panas saat matahari tidak diinginkan, pemantul *specular* seharusnya dimiringkan ke suatu sudut yang besarnya kira-kira sebanding dengan *latitude*.

matahari selama musim panas. Terlebih lagi, ia juga dapat memberi pengendalian privasi dan membuang efek lubang hitam dari pemasangan kaca tanpa pelapis pada malam hari. Penyekat panas malam hari juga sangat sesuai untuk sistem pemanasan secara langsung. Hal itu bukan yang utama, tetapi sangat berguna pada ruang matahari dan dinding Trombe, di mana dengan perfor-

ma jendela yang baik akan menjadikannya sebagai pilihan yang lebih baik.

Penyekat panas untuk malam hari dapat berupa beberapa bentuk. Tirai dengan lapisan termal mempunyai banyak keuntungan, tetapi terbatas dalam ketahanan thermalnya. Panel yang kaku dapat meraih nilai "R" (R. Value) yang tinggi, tetapi rumit untuk dibangun dan digunakan.

Jendela dengan tingkat efisiensi yang tinggi bertambah populer karena jendela-jendela ini tidak mempunyai kebutuhan khusus berkaitan dengan pemasangan dan tidak membutuhkan keterlibatan pengguna. Namun, hal itu tetap tidak menghilangkan kebutuhan akan naungan, privasi, atau penghapusan efek lubang hitam pada malam hari. Strategi ini dibahas lebih lanjut pada Bab 15.

Meskipun juga digunakan penyekat yang dapat bergerak pada jendela, jendela kaca rangkap dengan tingkat E yang rendah disarankan pada semua wilayah iklim, kecuali pada iklim sejuk seperti yang ditemukan di sepanjang Pantai California bagian selatan dan Florida bagian selatan. Seperti dengan penyekat penahan panas pada malam hari, bidang kaca yang efisien sangat dibutuhkan pada pemanasan secara langsung.

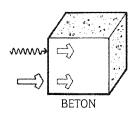
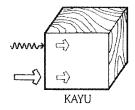
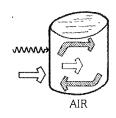
7.17 MATERI PENYIMPAN PANAS

Kesuksesan penyimpanan panas dan sebagian sistem pendinginan pasif kebanyakan bergantung pada penggunaan jenis material sebagai penyimpan panas yang tepat. Ketika membandingkan beberapa jenis materi untuk menyimpan panas dalam bangunan, perhatian para arsitek lebih banyak tertuju pada kapasitas panas dalam BTU per volume dibandingkan dalam BTU per pound. Tabel 7.17A menunjukkan variasi **volume kapasitas panas** yang banyak pada material.

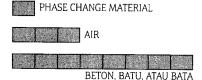
Sebagai contoh, mari kita perhatikan udara, yaitu sebuah materi yang hampir bisa dikatakan sebagai penyimpan panas yang sangat tidak baik karena memiliki massa yang kecil. Isolasi/penyekat juga hanya dapat menyimpan panas dalam jumlah yang kurang berarti karena sebagian besar dari materi ini adalah udara. Di sisi lain, air baja merupakan materi penyimpan panas yang terbaik, dan baja hampir menyerupainya. Kecuali untuk bahan kayu, sepertinya sebuah material yang berat mempunyai kemampuan yang baik, sedangkan yang ringan memiliki kemampuan yang buruk. Meskipun kapasitas penyimpanan panas kayu tinggi (karena sebagian besar materi di kayu adalah air) materi ini tetap kurang cocok sebagai bahan penyimpan panas karena kemampuan sebagai penghantar panas rendah. Kemampuan yang rendah untuk menghantar panas, namun tinggi untuk menahan panas ini, menghalangi pusat massa kayu menjadi materi penyimpan panas yang efisien. Dengan demikian, agar dapat berfungsi sebagai penyimpan panas yang cukup baik, sebuah material harus memiliki kapasitas penyimpanan panas serta daya konduksi yang tinggi. Untuk alasan tersebut, air, baja, bata, dan beton merupakan beberapa pilihan materi yang terbaik.

Air merupakan materi penyimpan panas yang sangat baik, bukan hanya karena kapasitasnya yang tinggi dalam menyimpan panas dibanding dengan beberapa materi yang lain, tetapi juga karena air memiliki tingkat penyerapan panas yang juga sangat tinggi. Arus konveksi alami pada air sama baiknya dengan arus konduksi yang akan membantu proses pemindahan panas ke interior massa (Gbr.7.17.a). Karena tingkat konduksi panas yang rendah pada

TABEL 7.17A *Kapasitas Panas Materi Per Volume*

Material	*Kapasitas panas per Volume (BTU/Ft30F)*
Air	62.4
Baja	59
Kayu	14-26
Batu bata	25
Beton (batu)	22
Insulasi busa	1
Udara	0.02

Gambar.7.17a Karena konduksi panas menuju ruang dalam suatu material merupakan hal yang penting sebagai penyimpan panas, kayu tidak bagus untuk menyimpan panas, sementara air sangat bagus.

TABEL 7.17B *Perbandingan Sistem Pemanasan Matahari Pasif*

Materi	*Keuntungan*	*Kerugian*
Air	- Cukup kompak - Gratis	- Sebuah kontainer penyimpanan diperlukan dan akan menjadi mahal - Terdapat kemungkinan bocor
Beton	- Sangat stabil - Dapat berfungsi sebagai dinding, lantai, dan lain-lain	- Mahal karena beratnya
Materi yang dapat berubah fase (*Phase-change material -PCM*)	- Paling kompak - Bisa muat ke dalam struktur rangka kayu biasa	- Paling mahal - Pengandalan jangka panjang hingga kini belum terbuktikan

Gambar.7.17b Volume relatif diperlukan untuk penyimpanan panas yang sama

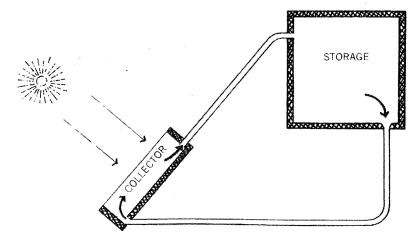
beton, baja, batuan, dan lain-lain, ketebalan termal efektif untuk masing-masing materi terbatas. Meskipun beton, batuan, bata, dan batako tidak seefisien air, materi-materi tersebut memiliki sejumlah keunggulan. Mereka tidak mengalami kebocoran atau pembekuan dan pada umumnya juga berfungsi sebagai struktur sebuah bangunan. Perhatikan Tabel 7.7B dan 7.10, yang digunakan untuk memperkirakan massa termal yang diperlukan, berdasarkan ketebalan maksimum dari massa. Saat dibutuhkan panas yang lebih banyak, luas permukaannyalah yang harus ditambah, dan bukan ketebalannya.

Masih banyak lagi materi lain yang berpotensi sebagai bahan penyimpan panas. Jenis material seperti ini disebut sebagai ***Phase-Change Material (PCM)***. Mereka mampu menyimpan energi dalam bentuk panas laten (*latent-heat*), sedangkan material yang telah disebut sebelumnya menyimpan panas dalam bentuk *sensible-heat*. Karena untuk pemanasan pasif perubahan fase harus terjadi mendekati suhu ruang, garam hidrat (*calcium chloride hexahydrate*, garam *Glauber*, dan lain-lain.) merupakan material PCM yang paling menjanjikan.

Gambar 7.17b menunjukkan bahwa untuk menyimpan panas dalam jumlah yang sama, air membutuhkan hanya setengah dari volume beton. Meskipun pada material, perubahan massa menjadi lebih efisien ketika ia menjadi penyimpan panas, tetap saja materi ini belum merupakan alternatif yang praktis. Lihat Tabel 7.17B sebagai acuan perbandingan dari beberapa materi penyimpan panas.

7.18 SISTEM PEMANAS PASIF LAINNYA

Sistem *Convective Loop (Thermosiphon)*

Pada Gambar.7.18 a, kita melihat elemen dasar sistem *convective loop*. Pengumpulnya menghasilkan cairan panas (udara atau air) yang naik mencapai area penyimpanan. Sementara itu, cairan yang lebih dingin berasal dari area penyimpanan mengalir menuju area pengumpul. Aliran ini disebut sebagai ***Thermosiphoning***. Pada malam hari, arus konveksi akan berbalik jika tempat penyimpanan tidak ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi daripada alat pengumpul. Kunci sukses penggunaan sistem ini adalah dengan meletakkan penyimpan panas pada posisi yang lebih tinggi dari posisi pengumpul. Sayangnya, hal ini sulit dilakukan karena pada tipe penyimpanan

Gambar.7.18a Sistem *convective loop (thermoshipon)* membutuhkan penyimpan di atas pengumpul.

medium berat air atau batuannya cukup besar. Meletakkan suatu massa pada posisi yang lebih tinggi akan menimbulkan permasalahan kecuali jika kita cukup beruntung dengan mendapatkan lokasi yang memiliki kemiringan dengan arah ke selatan.

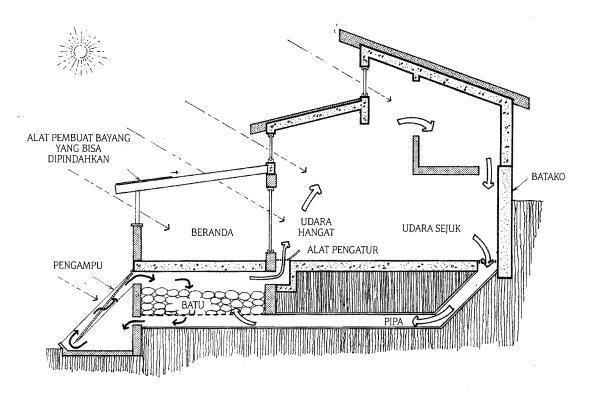
Rumah Paul Davis berlokasi pada lereng yang curam sehingga pengumpul udara panas dapat memanaskan sampai dasar batuan rumah tersebut (Gbr.7.18b). Pada malam hari, panas dari dasar batuan mengalir menuju ruang dalam, di mana udara dingin dari dalam rumah mengalir menuju batuan. Hal ini juga merupakan suatu *convective loop* dan dikendalikan oleh alat pengontrol panas. Rumah dipanaskan pada siang hari dengan pemanasan langsung.

Meskipun secara tegas dikatakan hal ini merupakan suatu sistem pasif, hal ini lebih dikenal pada sistem aktif solar dibandingkan pada sistem pasif solar. Tidak terdapat pendekatan yang terintegrasi ketika keduanya memiliki fungsi yang sama. Hal ini menambah biaya dalam jumlah yang cukup berarti dan sistem ini juga masih kurang dikenal. Pembahasan selanjutnya mengenai hubungan antara pengumpul dan penyimpan panas dapat ditemukan dalam Bab 8, yaitu pada sistem aktif solar.

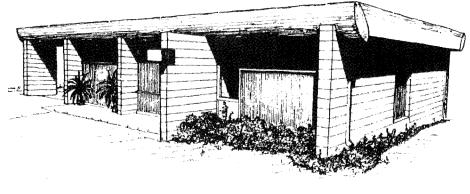
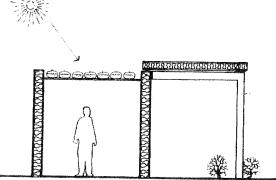
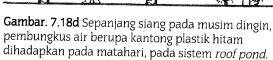
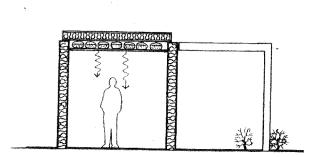
Roof Ponds

Konsep ini sama dengan dinding Trombe. Perbedaannya pada kasus ini kita memiliki sebuah penyimpan panas di atap (Gbr.7.18c). Pada sistem *roof ponds* ini air disimpan pada kantong plastik hitam pada sebuah atap dengan alas metal, dan selama musim dingin di siang hari, matahari memanasi kantong air (Gbr.7.18d). Panas dengan cepat disalurkan ke bawah dan diradiasikan dari langit-langit menuju ruang dalam. Pada malam hari, penyekat yang dapat bergerak menutupi air untuk menjaga terjadinya pelepasan panas menuju langit malam hari. (Gbr.7.18e)

Secara teori, sistem *roof ponds* merupakan sistem yang baik sekali karena sistem ini tidak hanya memanasi secara pasif pada musim dingin, tetapi juga memberikan pendinginan yang efektif pada musim panas. Selama bagian tahun yang sangat panas, isolasi menutupi ruang pada siang hari dan membuka pada malam hari. Strategi sistem ini dijelaskan pada subbab 10.10

Sayangnya, konsep ini memiliki beberapa masalah dalam

Gambar.7.18b *Convective Loop* memanaskan batu pada rumah *Davis, New Mexico*, yang dirancang oleh *Steve Baer.*

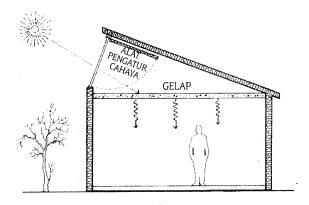
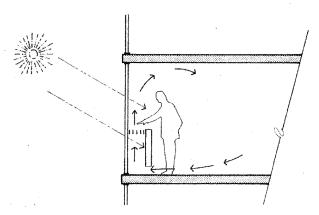
Gambar. 7.18c Rumah *Harold Hay di Atascadero, CA 1967*, dilengkapi dengan konsep *roof pond* (dikutip dari buku *Solar Dwelling Design Concept" oleh AIA Research Coorporation U.S Department Housing and Urban Development, 1976, HUD-PDR 154 (4).*

Gambar. 7.18d Sepanjang siang pada musim dingin, pembungkus air berupa kantong plastik hitam dihadapkan pada matahari, pada sistem *roof pond.*

Gambar. 7.18e Pada malam hari pada musim dingin, penyekat yang keras digeser ke atas air.

praktiknya. Kesulitan utamanya adalah sepertinya tidak seorang pun mampu mengembangkan sistem isolasi pada atap yang dapat berkerja, dapat bergerak. Penyekat yang buruk sepanjang isolasi yang dapat bergerak dapat menyebabkan kebocoran panas. Masalah lain adalah berat air. Di Amerika Serikat penggunaan konstruksi bangunan ringan sudah merupakan norma dan atap yang berat akan mengakibatkan biaya yang besar. Kebocoran air juga merupakan perhatian yang utama. Karena ide dasarnya adalah untuk efisiensi dan kenyamanan termal, maka perlu diselidiki bagaimana mengatasi masalah di lapangan ini.

Ada satu tambahan masalah lagi. Berdasarkan Hukum Cosine, atap datar menerima radiasi lebih sedikit dari atap miring atau permukaan vertikal pada musim dingin. *Latitude* yang lebih tinggi menjadikan masalah ini semakin buruk. Oleh karena itu, konsep seperti ditunjukkan di atas hanya dapat digunakan untuk daerah bagian selatan Amerika Serikat. Untuk *latitude* utara, Harold Hay menyarankan solusi berbeda, yaitu jenis atap yang mirip dengan yang disebut sebagai ***Roof Radiation Trap*** oleh B. Givoni (Gbr.7.18f)

Atap Penangkap Radiasi

Untuk mengatasi beberapa kesulitan yang serius pada *roof ponds,* B. Givoni mengembangkan sistem atap penangkap radiasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar. 7.18f, kaca pada atap dimiringkan untuk memaksimalkan pengumpulan pada musim dingin dalam berbagai *latitude* (kemiringan = latitude + 15 derajat). Setelah melewati kaca, radiasi matahari diserap oleh balok beton langit-langit yang berwarna hitam. Dengan demikian, bangunan dipanaskan oleh radiasi dari langit-langit. Atap yang miring diisolasi dengan baik dan alat penutup yang dapat bergerak mengatur pelepasan panas melalui kaca pada malam hari. Karena alat penutup ini berada di bagian dalam kaca, penyekat di sekelilingnya sudah tidak terlalu berpengaruh. Sistem ini juga dapat diadaptasikan untuk pendinginan pasif pada musim panas dan digambarkan lebih lanjut pada subbab 10.11.

Gambar.7.18f Atap sistem penangkap panas yang dikembangkan oleh Givoni di Israel.

Gambar.7.18g Dinding pengumpul yang ringan dapat menyuplai tambahan pemanasan siang hari dengan konveksi alami dari radiasi yang diterima.

Pengumpul Dinding Ringan

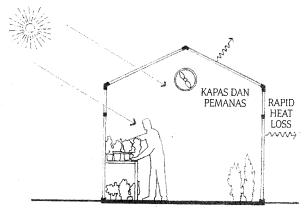
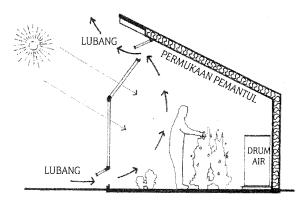
Pengumpul dinding ringan digambarkan pada Gambar.7.18g. Biasanya pada iklim yang sangat dingin, bangunannya membutuhkan ekstra pemanasan pada siang hari dan panas yang sedikit pada malam hari. Konsep ini dibutuhkan oleh beberapa jenis bangunan seperti sekolah, kantor, dan pabrik. Pada sistem ini tidak ada massa penyimpan panas khusus, seluruh radiasi matahari jatuh pada pengumpul yang digunakan untuk memanaskan udara ruang dalam ketika matahari bersinar.

Kebun Rumah Kaca Modern

Kebun rumah kaca konvensional, seperti terlihat pada Gambar. 7.18h, memiliki beberapa kesalahan serius. Seperti yang telah dialami, misalnya pelepasan panas pada malam hari pada musim dingin sehingga terlalu banyak bahan bakar yang harus digunakan untuk menjaga tanaman dari kebekuan. Selain itu, hanya sebagian dari area kaca yang terkena sinar matahari di sepanjang siang pada musim dingin, sementara sisanya adalah pelepasan panas. Bahkan, selama musim panas pun ada masalah. Karena sisi kaca yang besar menghadap matahari, masalah pemanasan yang berlebihan akan menjadi masalah utama. Sudah menjadi kebiasaan untuk menggunakan kipas yang besar dan kadang juga menggunakan sistem pendingin yang bekerja terus sepanjang hari untuk melindungi tanaman dari kekeringan.

Pendekatan perancangan pada kebun rumah kaca ini telah tercatat sepanjang sejarah hingga akarnya, yaitu dari beberapa negara seperti Inggris dan Belanda. Kedua negara ini memiliki iklim yang sangat sejuk dan berawan. oleh karena itulah, baik pelepasan panas pada musim dingin maupun pamanasan yang berlebihan pada hari yang sangat panas menjadi suatu masalah. Di tambah lagi, area kaca yang luas sangat dibutuhkan pada iklim yang berawan untuk memberikan cahaya yang cukup bagi tanaman.

Namun, iklim di Amerika Serikat lebih tajam dibandingkan dengan iklim di Inggris ataupun Belanda sehingga kita membutuhkan rancangan rumah kaca yang berbeda. Pada Gambar.7.18i kita melihat contoh rumah kaca hortikultural modern yang mewakili kebanyakan zona iklim di Amerika Serikat. Dinding sebelah utara dan atap diisolasi dengan baik. Konstruksi dinding di sebelah selatan dan atapnya berupa kaca dua lapis. Massa termal tanah dan lantai dilengkapi dengan drum-drum air. Muatan panas pada musim panas dibatasi tidak hanya dengan menggunakan overhang. Pendinginan selanjutnya berasal dari sirkulasi udara secara alami yang diberikan oleh sebuah ventilasi besar yang dapat bergerak pada titik tertinggi dan terendah dalam rumah kaca.

Untuk meminimalkan kecenderungan tanaman tumbuh mengarah pada sumber cahaya (pada kasus ini arah selatan) langit-langit pada sisi utara dilapisi dengan permukaan yang juga *specular* sehingga pada sisi utara bangunan tanaman juga memperoleh cahaya.

Gambar.7.18h Sebuah rumah kaca hortikultural konvensional merupakan pengguna energi terbesar karena dilengkapi dengan sebuah kipas untuk menahan pemanasan yang berlebihan dan sebuah mesin pemanas untuk mencegah pembekuan.

Gambar.7.18i Rumah kaca hortikultural dengan sistem pasif modern dilengkapi dengan naungan dan ventilasi untuk menahan pemanasan berlebihan. Penyekat, pemanasan langsung, dan penggunaan dinding masif digunakan untuk menahan pembekuan.

7.19 RINGKASAN

Banyak faktor yang berpengaruh untuk menentukan pilihan terbaik dari beberapa sistem pemanasan pasif. Iklim, jenis bangunan, pilihan penggunaan bangunan, serta biaya merupakan beberapa pertimbangan utama. Kebanyakan pilihan terbaik adalah dengan menggunakan kombinasi beberapa sistem sehingga dapat memenuhi beberapa kebutuhan dari berbagai jenis permasalahan. Di sisi lain, ada terdapatnya variasi pada satu jenis sistem saja juga akan memberikan hasil yang terbaik. Hal ini juga menunjukkan bahwa ada beberapa ide bagus yang belum dikembangkan. Hal yang pasti adalah beberapa tipe sistem pemanasan pasif pada bangunan yang membutuhkan pamanasan akan memberikan keuntungan.

Banyak di antara bangunan termasuk yang disebutkan pada studi kasus di Bab 17 menggunakan satu atau lebih teknik penyinaran matahari pasif. Perhatikan khususnya pada bangunan kampus *Colorado Mountain College* dan *Hood College*.

Bab ini dimulai dengan membahas contoh bangunan pasif solar bersejarah. Salah satu contohnya adalah tipe *saltbox* di New England. Bab ini diakhiri dengan pembahasan bangunan di barat Maryland yang menggunakan prototipe bangunan bersejarah tersebut. (Gbr.7.19)

Gambar.7.19 Rumah country ini dirancang oleh penulis untuk daerah barat Maryland. Rumah ini mengekspresikan ciri khas *saltbox* yang berasal dari Eropa Baru dan atap *"pent"* dari daerah Pennsylvania Kebanyakan permukaan kaca menghadap sisi selatan dan monitor atap digunakan untuk pendinginan pada musim panas.

IDE POKOK BAB 7

1. Maksimalkan lapisan kaca bagian selatan karena jendela-jendela bagian selatan:
   a. mengumpulkan jumlah panas yang lebih besar pada siang hari dibandingkan panas yang dilepaskan pada malam hari;
   b. mengumpulkan panas lebih banyak pada musim dingin dibandingkan pada musim panas.
2. Esensi dari pemanasan sistem pasif adalah pada sisi kaca yang menghadap selatan dan massa termal.
3. Pada sistem penambahan-langsung, semakin banyak massa menerima radiasi matahari langsung atau dengan pemantulan, semakin baik. Massa termal tersebut harus memiliki permukaan yang lebih luas daripada tebalnya.
4. Tiga tipe sistem pasif solar:
   a. pemanasan langsung,
   b. dinding Trombe,
   c. ruang matahari.
5. Sistem penambahan langsung merupakan sistem yang paling sederhana dan ekonomis, tetapi kadang-kadang mengakibatkan tingkat pencahayaan yang tinggi.
6. Dinding Trombe memasukkan panas tanpa cahaya.
7. Ruang matahari merupakan ruang tinggal yang sangat menyenangkan dan juga alat pemanas yang baik.
8. Untuk menjaga ruang matahari dari kekurangan energi, kita harus merancangnya menjadi ruang yang cukup sejuk untuk ruang tinggal (misalnya, dipanaskan atau didinginkan dengan mesin).
9. Sistem pasif harus dinaungi pada musim panas untuk menjaga aset ini berubah menjadi rintangan.
10. Pasif solar adalah orientasi 80 persen.

Footnotes

[1]*Patio*: halaman di luar rumah

[2]*Skylight*: jendela pada atap yang miring

[3]*Awning*: atap yang terbuat dari kanvas atau bahan lain sebagai tempat teduh

[4]*Gnomon*: penyajian sistem 3 dimensi (x-y-z) aksis sistem

REFERENSI

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

Anderson, B. Solar Energy: *Fundamentals in Building Design.*

Anderson, B., and M. Wells. *Passive Solar Energy.*

ASHRAE. *Passive Solar Heating Analysis: A Design Manual.*

Balcomb, J. D. *Passive Solar Buildings.*

Brown, G. Z., and M. DeKay. *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies.*

Buckley, S. *Sun Up to Sun Down.*

Clegg, P., and D. Watkins. *Sunspaces: New Vistas for Living and Growing.*

Cook, J. *Award Winning Passive Solar House Designs.*

Daniels, K. *The Technology of Ecological Building.*

Givoni, B. *Climate Considerations in Building and Urban Design.*

Heinz, T. A. "Wright's Jacobs II House."

Hestnes, A. G., R. Hastings, and B. *Saxhof, eds. Solar Energy Houses: Strategies, Technologies, Examples.*

Jones, R. W., and R. D. McFarland. *The Sunspace Primer: A Guide to Passive Solar Heating.*

Kachadorian, J. *The Passive Solar House: Using Solar Design to Heat and Cool Your Home*

Kohlmaier, G., and B. von Sartory. "Das Glashaus: Ein Bautypus des 19. Jahrhunderts."

Los Alamos National Lab. "Passive Solar Heating Analysis: A Design Manual."

Mazria, E. *The Passive Solar Energy Book.*

Miller, B. *Buildings for a Sustainable America Case Studies.*

Panchyk, K. *Solar Interior: Energy Efficient Spaces Designed for Comfort.*

Potts, M. *The New Independent Home: People and Houses that Harvest the Sun.*

Singh, M. *The Timeless Energy of the Sun for Life and Peace with Nature.* Preface by Federico Mayor.

Boonstra, C., ed. *Solar Energy in Building Renovation.*

Stein, B., and J. Reynolds. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings.*

Steven Winter Associates. *The Passive Solar Design and Construction Handbook.*

Watson, D. *Designing and Building a Solar House: Your Place in the Sun*

MAJALAH TERBITAN BERKALA

Solar Today

ORGANISASI

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap.)

American Solar Energy Society
http://www.ases.org
Kelompok nasional untuk pendidikan energi yang dapat diperbaharui.
Caddet Center for Renewable Energy www.caddet.co.uk
Ringkasan proyek-proeyk energi yang dapat diperbaharui, di seluruh dunia.

Center for Renewable Energy and Sustainable Technology (CREST)
www.crest.org
Comprehensive educational source for renewables.

Florida Solar Energy Center (FSEC)

National Center for Appropriate Technology (NCAT)

National Renewable Energy Laboratory (NREL)
www.nrel.gov
Sumber informasi yang baik dan terperinci mengenai energi yang dapat diperbaharui.

Sustainable Buildings Industry Council (SBIC)
www.sbic.org

BAB 8

PHOTOVOLTAICS DAN PENYINARAN MATAHARI AKTIF

"Bumi ini dimiliki oleh setiap generasi sepanjang masanya, secara utuh dan memiliki tuntutan kemampuan dari tiap generasi; tiada generasi mana pun yang dapat berutang lebih dari apa yang harus dibayar kembali sepanjang masa eksistensinya sendiri."

Thomas Jefferson

8.1 PENGANTAR

Meskipun secara sekilas pengumpul photovoltaic dan pengumpul sinar matahari aktif kelihatan mirip, sesungguhnya keduanya menghasilkan bentuk energi yang berbeda. **Panel Photovoltaic (PV)** menghasilkan energi tingkat tinggi, yaitu listrik, sedangkan **panel penyinaran matahari aktif** menghasilkan energi tingkat rendah dari panas suhu rendah. Listrik dinamakan **sumber energi tingkat tinggi** karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam hal (contoh: memproduksi cahaya, menggerakkan lift, dan lain-lain). Sementara itu, variasi pemanfaatan panas suhu rendah sedikit lebih banyak dibanding memanasi air dan bangunan.

Kedua sistem ini akan dibahas lebih lanjut pada bab yang sama karena sering kali keduanya terpampang pada bangunan secara bersamaan, mereka memiliki tampak yang sama, dan kebutuhan orientasi dan kemiringannya juga sama. Photovoltaic akan dibahas terlebih dahulu.

Gambar 8.2 Penurunan drastis dalam biaya sistem photovoltaics (PV). (Sumber, Maycock, 1998).

8.2 SUMBER ENERGI YANG PALING IDEAL

Seperti yang telah dibahas pada bab 2, semua sumber energi konvensional pada dasarnya memiliki kekurangan yang cukup serius. Jadi, sumber energi mana yang paling ideal? Sifat-sifat apakah yang dimiliki oleh sumber energi yang ideal?

Sifat Sumber Energi yang Ideal

1. Berkelanjutan (diperbaharui)
2. Tidak menghasilkan polusi
3. Tidak membahayakan manusia ataupun planet
4. Energi tingkat tinggi yang bermanfaat untuk segala hal
5. Tidak bersuara (Tenang)
6. Menyediakan energi di tempat yang sedang dibutuhkan (tidak memerlukan pengangkut energi)
7. Akan selalu ada terutama pada saat yang paling dibutuhkan, biasanya pada hari panas dan cerah pada musim panas.
8. Memiliki kelebihan tambahan untuk membuat bangunan berlapis (*building envelope*) termal (misalnya menggantikan bahan bangunan konvensional)
9. Sangat dapat diandalkan
10. Tidak memiliki bagian yang bergerak
11. Tidak memerlukan perawatan
12. Modular (dapat dalam bentuk apa pun yang diinginkan)
13. Biaya operasional yang rendah
14. Biaya awal yang rendah
15. Menyediakan energi setiap saat.

Photovoltaic (PV) merupakan satu-satunya energi yang memiliki sifat paling mirip dengan daftar sifat yang tertera di atas. PV memiliki semua sifat kecuali kedua sifat terakhir, yaitu biaya awal yang rendah dan menyediakan energi setiap saat. Kenyataan bahwa PV tidak mampu membangkitkan listrik pada malam hari bukan merupakan masalah yang besar karena baterai atau rangka tenaga *(power grid)* dapat digunakan untuk menyimpan listrik. Pada siang hari, awan juga tidak menjadi sebuah masalah yang harus dirisaukan karena PV dapat memanfaatkan cahaya yang tersebar cukup baik.

Cara Singkat untuk Langit Berawan dan Pengeluaran-PV
(Sumber dari Tapping into the Sun)

1. Pengeluaran sekitar 80 persen pada hari-hari yang sedikit berawan
2. Pengeluaran sekitar 50 persen pada hari-hari yang berkabut/lembap.
3. Pengeluaran sekitar 30 persen pada hari-hari yang cerah

PV masih lebih mahal dibanding sebagian besar listrik konvensional. Pada tempat di mana listrik

konvensional sangat mahal atau sama sekali tidak ada, seperti di pulau atau daerah yang tidak terjangkau tenaga rangka (power grid) PV akan menjadi pilihan yang paling ekonomis.

Saat penggunaan PV meningkat, biayanya akan terus menurun melalui perbaikan teknologi serta skala ekonomis (Gbr.8.2). PV memiliki potensi menjadi sangat murah karena kesederhanaannya serta kebutuhan bahan yang sangat sedikit. Pada saat yang bersamaan, PV juga akan menjadi lebih menarik saat orang lebih menyadari perlunya sumber energi yang bersih, berkelanjutan, dan tidak menghasilkan gas efek rumah kaca.

8.3 SEJARAH *PHOTOVOLTAIC* (PV)

Becquerel menemukan efek fotoelektrik pada tahun 1839 dan Bell Laboratories mengembangkan sel silikon kristal *(crystalline silicone cell)* pada tahun 1954. Sedikit perkembangan berarti berhasil didapatkan hingga tahun 1958, saat program ruang angkasa memerlukan sebuah sumber listrik yang sangat ringan dan dapat diandalkan untuk satelitnya. Meskipun Photovoltaic (PV) terbukti sangat andal, biaya aplikasinya terbukti terlalu mahal. Penelitian selanjutnya menghasilkan biaya yang lebih murah untuk memberi tenaga pada stasiun telepon *relay*, pelampung, sinyal rel kereta api, dan instalasi listrik lainnya yang jauh dari jaringan kabel listrik.

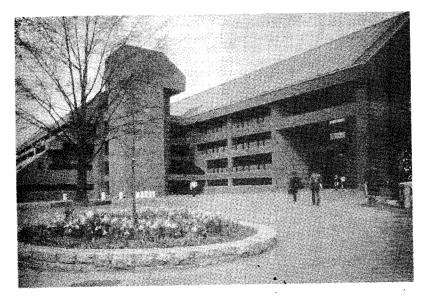
Saat ini, PV merupakan tenaga yang cukup murah untuk sebuah rumah serta tenaga pada jaringan di saat puncak permintaan. PV juga sering kali digunakan di negara sedang berkembang yang jauh dari jaringan tenaga listrik. Pada negara berkembang, masyarakat dan negara menggunakan PV untuk menyampaikan masalah kenaikan suhu pada bumi, berkelanjutan, serta kemandirian untuk memiliki energi (lihat Gbr. 8.3a, 8.3b, 8.3c).

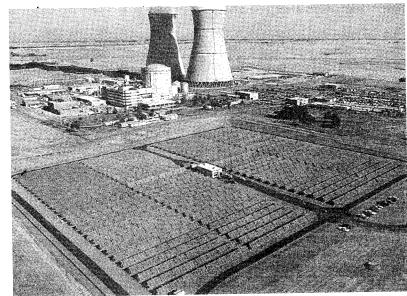
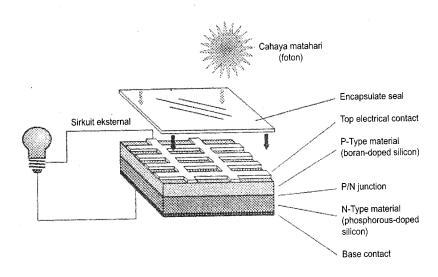
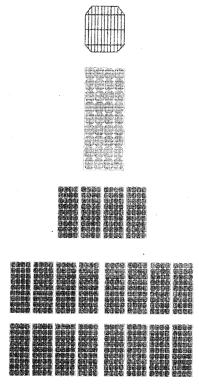
8.4 SEL *PHOTOVOLTAIC*

Sel Photovoltaic yang sering kali dikenal sebagai **sel solar/matahari**, dibuat dari sebuah *wafer* yang langsung mengubah cahaya menjadi listrik. Seperti transistor, wafer ini terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon dengan sedikit jumlah ketidakmurnian yang ditambahkan untuk menghasilkan elektron yang berlebihan di satu lapis, sedangkan pada lapisan yang satu lagi akan kekurangan elektron. Foton cahaya menghasilkan elektron bebas di satu lapis dan sebuah lembaran konduktor membuat elektron tersebut mengalir melewati sirkuit eksternal untuk mencapai lapisan yang kekurangan elektron (Gbr. 8.4a).

Sel satuan-kristal silikon merupakan sel yang paling efisien tetapi juga paling mahal. Untuk mengurangi biaya, telah dibuat *polycrystalline* dan sel film-tipis PV. Sel film-tipis PV ini terbuat dari silikon amorphous, copper indium, diselenide, atau cadmium telluride. Meskipun sel ini mengubah cahaya matahari menjadi listrik dengan setengah penghematan (sekitar 8 persen) dari sel satuan-kristal silikon (sekitar 15 persen), harganya yang lebih murah melebihi pemberian kompensasi saat area pengumpul tidaklah terbatas. Penelitian yang sedang berjalan mencoba untuk menaikkan tingkat efisien yang hingga sekarang di laboratorium telah mencapai 33 persen.

Karena sel PV kecil dan rapuh, dan hanya menghasilkan sedikit tenaga, sel tersebut dimasukkan ke sebuah kotak untuk membentuk modul. Terdapat berbagai

Gambar 8.3a Bangunan *Lord House* di Maine merupakan sebuah gedung yang memiliki gabungan jaringan, di mana setengah dari atap membangkitkan listrik dan setengah lainnya air panas. Di siang hari, listrik dijual kepada perusahaan tenaga listrik dan pada malam hari listrik dibeli kembali. Rumah ini menggunakan isolasi dan penghang-atan pasif dan terisolasi dengan baik. (Dari *Solar Design Associates*, Inc.)

Gambar 8.3b Gedung *Intercultural Center* di Georgetown University merupakan contoh baik dari bangunan terpadu Photovoltaic (*Building Integrated Photovoltaics/ BIPV*). Atap bagian selatan ditutupi dengan susunan 300-kilowatt PV yang menghasilkan sekitar 50 persen dari kebutuhan listrik bangunan tersebut (Dari dan © *BP Solarex*).

Gambar 8.3c Sebagian besar perusahaan tenaga telah membuat sejumlah lahan pengolahan PV untuk menggunakan matahari. Energi ini tersedia lebih banyak pada hari-hari yang cerah pada musim panas, khususnya saat diperlukan listrik untuk memberi tenaga pada perangkat penyejuk ruangan (*air conditioner/AC*). Gambar ini menunjukkan sistem *single-axis-tracking*, 2 megawatt, pada pusat tenaga *Sacramento Municipal Utility District* di Rancho Seco, California. Sementara itu, pusat tenaga nuklir yang terlihat sebagai latar belakang telah ditutup. (*Sacramento Municipal Utility District*).

Gambar 8.4a Gambar potongan sebuah sel PV tipikal. Foton-foton cahaya membangkitkan elektron bebas. Jaringan metal di bagian atas dan piringan logam di bagian bawah memberi jalan untuk terjadinya pengumpulan dan kembalinya elektron bebas melalui sirkuit listrik eksternal.

Gambar 8.4b Sel bergabung untuk membentuk sejumlah modul, di mana modul tersebut akan membuat sebuah panel yang kemudian membentuk sebuah jaringan. (Dari *Federal Technology Alert Photovoltaics*)

macam ukuran modul, namun agar penanganannya gampang, sering kali mereka memiliki lebar 3 kaki dan panjang 5 kaki. Sebagian dari modul tersebut dikombinasikan untuk membuat panel, yang nantinya dikombinasikan lebih lanjut untuk menghasilkan sebuah kumpulan (Gbr.4b).

Saat dua sel atau modul tergabung secara seri, voltasenya akan mengganda; saat keduanya terhubung secara paralel, arusnya akan mengganda. Dengan demikian, sejumlah sel pada kombinasi yang tepat akan menghasilkan kombinasi voltase dan arus apa pun. Karena tenaga listrik merupakan hasil voltase dan arus, tenaga dengan jumlah sebesar apa pun dapat dihasilkan dengan jumlah sel yang cukup (lihat Kotak 8.4).

8.5 TIPE SISTEM *PHOTOVOLTAIC*

Terdapat dua tipe dasar sistem Photovoltaic (PV) yang terdapat pada bangunan: berdiri sendiri dan yang *memiliki hubungan jaringan*. Saat koneksi pada sebuah jaringan listrik tidak mungkin terlaksana atau tidak diinginkan, sebuah sistem yang berdiri sendiri akan diperlukan. Dalam kasus seperti ini diperlukan baterai untuk memberi tenaga pada malam hari, saat mendung, serta saat puncak kebutuhan energi. Susunan PV berada pada ukuran yang tepat untuk mengendalikan baik beban cahaya normal di siang hari maupun pada pengisian baterai. Baterai tersebut menambah cukup besar biaya dan pemeliharaan sistem tersebut.

Saat PV digunakan di mana ada jaringan tenaga, baterai tidak akan diperlukan. Pada hari yang cerah, tenaga PV yang berlebihan dijual ke bagian utilitas, dan pada malam hari tenaga diambil dari jaringan. Akibatnya, jaringan berperan sebagai sebuah baterai penyimpan yang sangat besar. Hal ini dapat menjadi sebuah keuntungan bagi pemilik PV maupun sebagian besar perusahaan tenaga lainnya karena puncak permintaan atas jaringan ini sering kali terjadi pada hari yang panas dan/atau di hari yang cerah pada musim panas. Sementara itu, pada malam hari perusahaan tenaga memiliki kapasitas yang berlebihan untuk dijual.

Sekarang sebagian besar masyarakat membayar biaya listrik satu hari dan tahun. Namun, dengan deregulasi industri tenaga biaya waktu harian akan menjadi hal yang biasa. Selain itu, biaya juga akan menjulang tinggi saat pemakaian mencapai puncak

KOTAK 8.4

Tenaga listrik yang dihasilkan sama dengan produk dari arus dan voltase.

$$W = I \cdot V$$

di mana:
W = tenaga dengan satuan watt
I = arus dengan satuan Amper
V = voltase dengan satuan volt

Energi yang dihasilkan sama dengan tenaga dikalikan dengan jumlah waktu yang telah dihasilkan tenaga tersebut.

$$E = W \cdot H$$

di mana:
E = energi listrik dengan satuan watts-hours
W = tenaga dengan satuan watts
H = waktu dengan satuan jam

Karena jumlah watt-hours biasanya sangat besar, energi listrik biasanya dalam kilo watt-hours.

$$E = K \cdot W \cdot H$$

di mana:
1 KW = 1,000 W

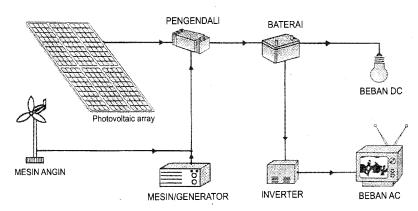
sehingga PV akan dapat bersaing. Koneksi jaringan dengan PV sudah dapat terlaksana karena telah dibuatnya hukum (*Public Utilities Regularity Policy Act*) pada tahun 1978 yang menyatakan bahwa utilitas yang memerlukan dapat membeli tenaga dari pemilik sistem PV. **Hukum jaring-meteran** di berbagai negara bagian memerlukan perusahaan tenaga untuk membeli tenaga PV dari para individu dengan biaya sama dengan yang mereka tentukan.

Gambar 8.5a Sebuah sistem tipikal PV jaringan-tersambung. Di hari yang cerah, tenaga yang berlebihan akan mengalir ke dalam jaringan dan meteran akan berjalan mundur.

Pada sistem jaringan gabungan diperlukan sebuah proses membalikkan arus langsung dari susunan PV menjadi arus alternatif (*AC/Alternate Current*) dengan voltase dari jaringan yang benar (Gbr. 8.5a). Semua peralatan bangunan berikut AC biasa, 120v (atau apa pun dasar voltase yang ada). Perhatikan bahwa baterai tidak lagi diperlukan, ini merupakan penghematan yang signifikan baik pada biaya maupun pemeliharaan.

Gambar 8.5b Sebuah sistem-mandiri memerlukan sejumlah baterai untuk menyimpan listrik yang akan digunakan pada malam hari dan sebuah inverter untuk membalikkan DC menjadi AC.

Pada sistem yang berdiri sendiri, listrik berlebihan yang dihasilkan pada siang hari akan tersimpan di dalam sejumlah baterai agar dapat digunakan pada malam hari atau hari yang mendung (Gbr. 8.5b). Karena alat inverter mahal dan memakan 20 persen dari tenaga yang dihasilkan PV, gedung harus menggunakan sebanyak mungkin perangkat yang menggunakan arus-langsung voltase rendah (*DC/Direct Current*) untuk menggantikan perangkat AC standar jika mungkin. Sebuah alat inverter berikutnya yang kecil dan lebih murah akan mampu memberi tenaga pada perangkat AC. Karena mahalnya sel PV dan baterai, tenaga cadangan akan lebih diminati daripada sistem PV yang sangat besar pada saat mendung atau saat badai. Sebuah sistem hibrid tenaga angin merupakan alternatif untuk melengkapi sistem PV karena hembusan angin akan tetap ada pada malam hari, dan justru lebih banyak ekstra angin pada saat cuaca buruk. Terutama, pada saat musim dingin, di mana pemanfaatan energi matahari lebih sedikit, angin akan lebih gampang ditemukan dibanding pada saat musim panas (Gbr.8.5c). Sayangnya tidak semua negara bagian di Amerika Serikat cocok untuk tenaga angin. Lihat pembahasan tenaga angin di Bab 2.

Saat sebuah sumber angin yang dapat diandalkan tidak tersedia, unit generator sebaiknya diguna-

Gambar 8.5c Sistem hibrid memberikan tenaga yang paling bisa diandalkan dengan harga yang paling murah untuk tipe instalasi mandiri.

kan sebagai cadangan untuk sistem PV. Dengan demikian, mengapa kita harus menggunakan sistem PV? Mengapa tidak kita manfaatkan mesin generator saja? Justru sebagian besar dari instalasi yang tadinya menggunakan generator faktanya sekarang berubah menggunakan sistem hibrid PV. Hal ini terjadi karena sistem hibrid PV lebih dapat diandalkan, memerlukan lebih sedikit pemeliharaan, tidak bersuara, serta memerlukan bahan bakar yang lebih sedikit, yang selalu sulit dibawa ke daerah yang terpencil. Pada sistem hibrid yang telah dirancang dengan baik, mesin generator akan beroperasi beberapa kali dalam setahun, selama periode berawan yang sangat lama.

8.6 KESEIMBANGAN SISTEM PERANGKAT

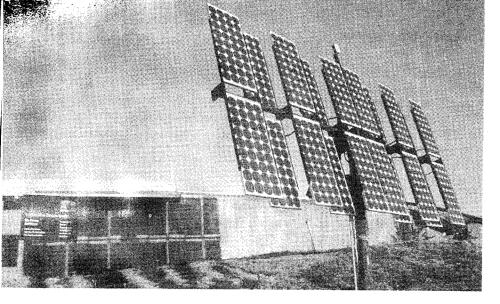
Sebuah instalasi Photovoltaic (PV) terdiri dari jaringan PV serta **keseimbangan sistem perangkat (*Balance of System/ BOS equipment*)**. Perangkat BOS biasanya terdiri dari sebuah pengendali pengisi ulang *(charge controller)*, sebuah inverter (untuk arus alternatif), tombol, sekering, kabel, dll. Untuk sistem mandiri, dalam perangkat BOS juga termasuk baterai. Sebuah panel dinding sering kali mencukupi perangkat BOS, kecuali untuk baterainya.

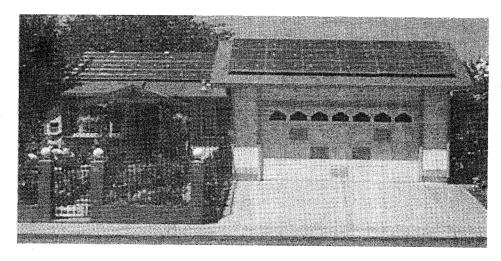
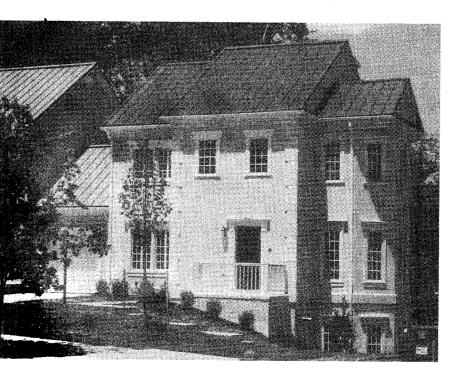
Pada sistem mandiri, listrik yang berlebihan saat matahari bersinar terang disimpan ke dalam sejumlah baterai. Meskipun berbagai macam baterai dapat diperoleh, sebagian besar sistem menggunakan versi siklus-panjang daripada baterai tipe *lead-acid* yang ditemukan pada mobil. Agar baterai bertahan lama serta aman, baterai harus disimpan di ruang yang memiliki ventilasi yang baik, sejuk, dan kering. Baterai harus diberi ventilasi ruang luar karena timbulnya hidrogen saat pengisian ulang. Konsekuensinya, mereka sebaiknya disimpan apakah di ruang interior yang berdekatan dengan dinding luar atau di dalam sebuah gudang yang terisolasi menyender pada dinding luar. Sebuah struktur yang terpisah hanya akan berjalan jika baterai tersebut berada pada suhu yang tidak terlalu panas atau terlalu dingin: suhu paling panas adalah 77°F.

Pada masa mendatang, alternatif baterai adalah yang menggunakan **bahan bakar** bebas polusi. Pada siang hari, matahari akan memberi energi untuk menghasilkan hidrogen melalui elektrolisis air. Pada malam hari, bahan bakar akan membangkitkan listrik, dan produk samping dengan hidrogen sebagai bahan bakar satu-satunya adalah air.

Saat buku ini sedang ditulis, bahan bakar komersial telah mulai masuk pasaran. Banyak para ahli yang percaya bahwa hidrogen merupakan bahan bakar masa depan, tetapi tentunya, hidrogen bukanlah sumber energi. Bahan ini harus diproduksi dan PV merupakan cara yang dapat tahan lama untuk memproduksinya.

8.7 *BUILDING-INTEGRATED PHOTOVOLTAICS/BIPV* (Bangunan-Terpadu Photovoltaics)

Sistem Photovoltaic (PV) dapat memberi tenaga pada bangunan dengan cara yang berbeda-beda, bervariasi mulai dari lahan pengolahan/atau "perkebunan" PV hingga menjadi bagian dari bahan bangunannya. Sebagian utilitas menambah kapasitas listriknya dari penghasil PV yang besar dan terpusat (Gbr. 8.3c), sedangkan perusahaan tenaga lainnya membuat lahan PV yang lebih kecil dan dekat dengan pemakai. Rangkaian PV dapat juga dibuat pada lahan yang berseberangan dengan bangunan si pemakai (Gbr. 8.7a), atau tergabung pada bangunannya sendiri di bagian atap (Gbr. 8.7b), atau juga tergabung pada sistem sampul bangunan (Gbr. 8.7c), yang menggunakan

Gambar 8.7a Sebuah jaringan on-site PV memerlukan struktur pendukung dan sejumlah lahan terbuka untuk akses. Sebuah pelacak matahari dapat dilihat pada gambar ini. (Dari Ecological Design Institute ©.)

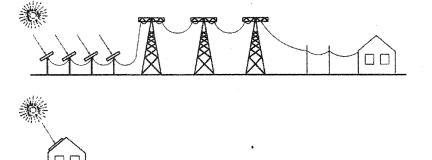
Gambar 8.7b Pada atap miring, PV sering kali diletakkan di bagian atap. (Dari *Sacramento Municipal Utility District*)

Gambar 8.7c BIPV tipe lapisan atap dengan sambungan berdiri (*standing seam roofing*) yang digunakan pada Maryland Townhouse ini, hampir mirip dengan lapisan atap dengan sambungan konvensional dan standar atap pada rumah sebelahnya.

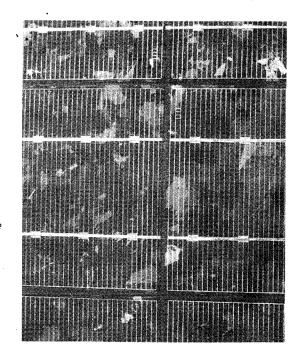
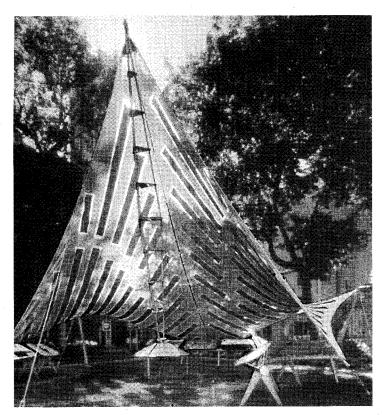
istilah ***Building-Integrated Photovoltaics/BIPV*** **(photovoltaics tergabung dengan bangunan).** Sistem BIPV ini dapat menggantikan lapisan atap, sepur langsir, dinding curtain (*curtain wall*), pelapis kaca (*glazing*), atau elemen khusus lainnya seperti teritisan atau kanopi.

Berikut ini berbagai keuntungan dalam penggunaan BIPV.

1. Pengurangan biaya pengangkutan listrik ke bangunan yang dapat mencapai hingga lebih dari 50 persen dari biaya keseluruhan listrik tersebut.
2. Pengurangan limbah energi hasil pengangkutan listrik yang dapat mencapai hingga 25 persen (Gbr. 8.7d).
3. Menghindar dari penggunaan ruang terbuka yang berharga untuk menempatkan rangkaian PV.
4. Mengurangi dari sebagian biaya pembuatan sampul bangunan karena menggunakan PV module sebagai penggantinya.
5. Menghindari struktur penopang karena sudah tersedia struktur bangunan yang asli.
6. Potensi estetika dengan menggunakan bahan *cladding*[1] yang baru.
7. Keuntungan dengan membangkitkan semua atau paling tidak sebagian porsi listrik yang diperlukan dengan cara yang ramah lingkungan.

Meskipun saat ini module PV masih mahal, biaya tersebut tidak jauh lebih mahal dari beberapa pelapis *cladding* bangunan yang paling bagus. Biaya PV tidak mahal, seperti, muka pelapis granit. Dengan demikian, seseorang memiliki pilihan untuk menyelamatkan semua atau sebagian biaya rangkaian PV dengan menghilangkan biaya elemen bangunan yang telah digantikan.

Module PV hadir dalam berbagai macam ukuran, lapisan akhir, dan warna. Sel-sel silikon polycrystalline memiliki warna biru yang indah dengan struktur crystallinenya membentuk pola yang menarik (Gbr. 8.7e). Kebanyakan film-tipis module PV berwarna coklat tua, dan sebagian fleksibel sehingga dapat digunakan pada permukaan lengkung (Gbr. 8.7f). Sejumlah sel sekarang sedang dikembangkan, yaitu yang berwarna emas, ungu, atau hijau. Variasi module PV yang semitransparan/semibening dapat digunakan sebagai pelapis kaca. Sel-sel ini dapat berbentuk bulat, semilingkaran, oktagonal (persegi delapan), kotak atau persegi panjang, dan modul atau panel dapat dibuat sesuai yang diinginkan untuk proyek bangunan besar.

Gambar 8.7d Selain menggantikan sebagian dari kulit bangunan yang telah rusak/lapuk, BIPV juga mengurangi transmisi listrik yang hilang yang dapat mencapai hingga 25 persen dengan jaringan tenaga yang sekarang.

Gambar 8.7e
Tampilan module PV yang bisa menjadi sebuah elemen atraktif, seperti yang terlihat pada pola sel silikon *polycrystalline* berwarna biru ini.

Gambar 8.7f Karena module film-tipis fleksibel, mereka sangat mudah bersatu dengan arsitektur melengkung.

Terdapat empat bagian utama sampul bangunan di mana PV dapat berintegrasi: dinding, atap, lapisan kaca, dan struktur tambahan seperti teritisan, kanopi pada pintu atau jalan masuk (*entrance*), serta struktur peneduh untuk area parkir mobil. Setiap bagian yang telah tersebut di atas akan dibahas lebih lanjut setelah pembahasan sifat PV yang penting bagi penggabungannya dengan bangunan.

Karena modul PV memiliki warna yang cukup gelap dan harus tidak ternaungi, banyak panas dihasilkan, yang tidak hanya mengurangi kemampuan bekerjanya sel-sel PV, namun juga dapat memanasi bangunan tersebut. Dengan demikian, sel pendinginan merupakan hal penting yang harus diperhatikan dan akan dibahas kemudian. Orientasi serta kemiringan rangkaian PV juga merupakan hal penting yang akan di bahas berikut ini.

8.8 ORIENTASI DAN KEMIRINGAN

Pengumpulan radiasi matahari yang paling maksimum terjadi saat alat pengumpul (*collector*) berada pada posisi tegak terhadap sinaran radiasi langsung. Karena matahari bergerak baik secara harian maupun tahunan, hanya sebuah pengumpul dengan dua-sumbu pelacak dapat memaksimalkan pengumpulan selama setahun. Sayangnya, pelacak pengumpul hanya akan berfungsi paling baik pada iklim kering yang banyak memiliki sinaran radiasi langsung 10-20 persen penyebaran radiasi matahari. Di sebagian besar iklim cerah dan lembap, radiasi langsung hanya mencapai satu-setengah dari radiasi matahari yang ada. Sementara itu, pada iklim yang berawan, 80 persen atau lebih sebagai radiasi tersebar. Saat sel PV sangat mahal, merupakan hal yang masuk akal untuk memiliki alat pelacak pada sebagian iklim (Gbr. 8.7a). Saat ini alat pelacak pengumpul harus dipertimbangkan hanya untuk iklim yang cerah dan kering, dan pada kondisi ini pun keuntungan dari penggabungannya dengan bangunan akan lebih besar dibanding dengan pelacakan.

Meskipun dengan penggabungan bangunan, orientasi serta kemiringan harus masih dipertimbangkan. Kemiringan terbaik untuk rangkaian PV bergantung pada waktu yang tepat dalam setahun saat energi maksimum dibutuhkan. Iklim yang panas memerlukan listrik yang paling banyak untuk menjalankan perangkat penyejuk udara (*air conditioning/AC*), Sementara itu, pada iklim dingin diperlukan listrik maksimum untuk pencahayaan, pompa sistem pemanasan, serta untuk mesin peniup. Gunakan panduan rancangan pada Subbab 8.16 untuk memilih PV optimal PV yang menghadap ke selatan.

Sering kali, orientasi optimal menghadap ke selatan, namun hanya sedikit terjadi pengurangan meskipun kemiringan melenceng sedikit (maksimum 20 derajat) ke arah timur atau barat dari selatan. Sayangnya, profil beban harian akan memengaruhi orientasi ter-

sebut. Contohnya, gedung sekolah di mana kegiatan dimulai pada pagi hari dan berakhir pada sore hari, sebaiknya menghadap 30 derajat timur dari selatan atau, dengan iklim yang berkabut pada pagi hari, orientasi akan lebih cocok bila menghadap barat daya.

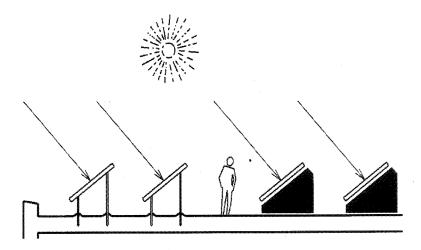
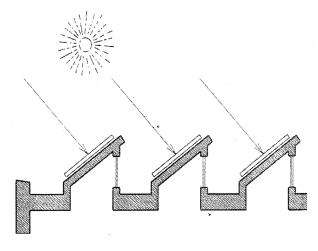
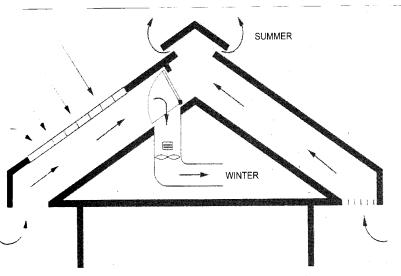
Ketika harga PV module mulai menurun, orientasi dan kemiringan optimal akan menjadi tidak begitu penting. Merupakan hal yang lumrah untuk menutupi atap dan terkadang *fasade*[2] bagian selatan. Fasade timur dan barat juga tidak jauh berbeda karena mereka dapat menghasilkan pengeluaran optimal di bagian selatan hingga 60 persen.

8.9 ATAP *CLAD* DENGAN *PHOTOVOLTAIC*

Sebaiknya atap memiliki kemiringan yang telah dibahas di atas dengan PV sebagai pengganti penutup atap (Gbr. 8.7c). Pada atap datar, sebuah struktur penopang dapat memberi kemiringan yang ideal namun, tentunya, keuntungan penggabungan dengan bangunan akan hilang (Gbr. 8.9a). Sebuah *clerestory* gigi gergaji adalah superior daripada atap yang datar karena pada kemiringan yang menghadap utara dapat dilapisi kaca pencahayaan alami, sedangkan bidang miring di selatan mendukung BIPV (Gbr. 8.9b). PV yang menghadap selatan dapat berupa semitransparan agar *clerestory* dapat mengumpulkan cahaya alami dari selatan maupun membangkitkan listrik. Selain itu, atap miring lebih gampang untuk diberi lapisan anti air. Sebuah atap datar tidaklah cocok untuk PV karena ia sangat jauh dari kemiringan yang ideal dan juga karena menumpuknya kotoran dan salju pada atap. Sebuah sudut yang cukup tegak akan membuat salju mengelincir jatuh dari PV yang licin.

Jika PV terintegrasi dengan atap, bagian bawah perlu ventilasi supaya sejuk. Pada musim dingin, panas yang berlebihan ini akan dapat dikumpulkan untuk memanaskan bangunan (Gbr.8.9c). Untuk atap tipe tradisional, sirap PV, batu slot PV, serta genteng PV, sekarang telah tersedia. Semuanya digunakan dengan cara konvensional kecuali koneksi listrik harus dibuat dengan tiap unit. (Gbr.8.9d)

8.10 FASADE *CLAD* DENGAN *PHOTOVOLTAIC*

Bukan hanya bagian selatan, melainkan juga bagian timur dan barat sebuah fasade, dapat menggunakan *cladding* dengan PV dan masih akan mampu membangkitkan listrik dengan jumlah yang

Gambar 8.9a Struktur penopang dapat memberi kemiringan yang cocok untuk PV yang digunakan pada atap datar, tetapi mereka tidak memberi keuntungan terjadinya integrasi dengan bangunan.

Gambar 8.9b Clerestory gigi gergaji dapat memberi pencahayaan alami yang baik serta kemiringan yang tepat untuk BIPV.

Gambar 8.9c Beri ventilasi pada bagian bawah PV saat pada musim panas untuk mempertahankan sel-sel dari panas berlebihan. Pada musim dingin, udara panas ini dapat dimanfaatkan untuk memanaskan bangunan.

Gambar 8.10a Gedung APS di Fairfield, California, menggunakan PV film-tipis yang terintegrasi dalam sistem struktur *curtain wall, skylight,* dan *awning*. (*Kiss & Catchcart*, arsitek © Richard Barnes, fotografer)

Gambar 8.9d Sirap PV telah dirancang hingga "menyatu" dengan sirap-sirap konvensional yang terdaat di sekitarnya. (courtesy United States Solar Systems Corp., manufacturing solar roofing under the brand name of UNI-solar®.)

Gambar 8.10b Gedung New York City Skyscraper, 4 Times Square, menggunakan panel spandrel BIPV pada lantai 35 hingga 48 karena lantai bagian bawah terlalu banyak ternaungi. (*Kiss & Catchcart*, arsitek)

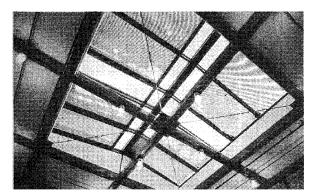
lebih dari cukup. Jika *mullion*[3] digunakan pada bagian eksterior, digunakan yang sedangkal mungkin untuk menghindari kemungkinan terjadinya naungan pada PV (Gbr. 8.10a). Gunakan PV hanya yang bagian atas fasade jika yang bagian bawah ternaungi, seperti yang sering kita temukan di daerah pusat kota yang padat atau tempat yang berpohon lebat (Gbr. 8.10b). Sama halnya dengan atap, ada baiknya memberi ruang udara di belakang PV untuk menyejukkan panelnya, dan pada musim dingin udara hangat ini dapat untuk memanaskan bangunan tersebut (Gbr. 8.10c).

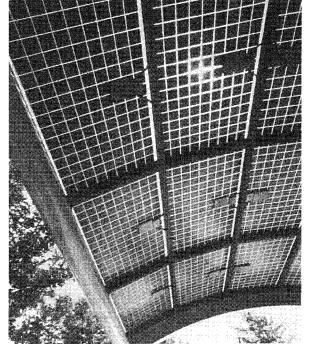
Gambar 8.10c Rancangan dinding dua lapis (dobel) membiarkan udara di belakang PV dikeluarkan dengan ventilasi udara pada musim panas untuk menyejukkan baik PV maupun bangungan tersebut. Pada musim dingin, udara panas dimanfaatkan untuk memanasi bagian utara bangunan.

8.11 PELAPIS KACA (*GLAZING*) DAN *PHOTOVOLTAIC*

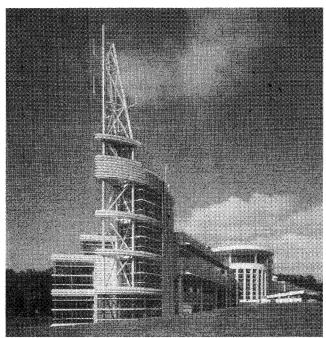
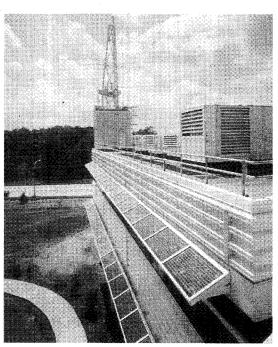
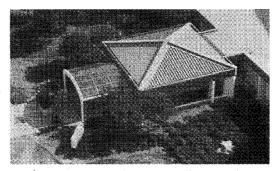
Terdapat dua tipe sistem pelapis kaca PV. Pertama adalah tipe semi transparan, seperti kaca patri (Gbr. 8.11a). Kedua, terdiri dari sel-sel buram pada kaca bening dengan jarak antarsel merupakan hal penentu bagi perbandingan rasio antara kebeningan dengan keburaman. Hal ini mirip dengan pelapis kaca yang telah dicat dengan ukiran (Gbr. 8.11b).

Masing-masing dari kedua tipe pelapis kaca PV mampu mengendalikan jumlah cahaya yang dipancarkan. Tentunya, semakin rendah cahaya yang dipancarkan, maka semakin rendah juga tenaga yang dihasilkan. Meskipun dengan sistem PV yang sangat transparan, dapat dihasilkan jumlah tenaga yang sangat besar karena jumlah pelapis kaca yang sangat luas pada sebagian besar bangunan modern. Pelapis kaca akan sangat cocok pada clerestory atau skylight karena elemen arsitektural ini tidak dibuat untuk pandangan keluar. Pelapis kaca PV juga dapat diikutsertakan ke dalam jendela canggih untuk mendapatkan kualitas insulasi yang baik.

Saat ini sedang dikembangkan tipe pelapis kaca PV transparan yang mempergunakan hanya radiasi inframerah matahari untuk membangkitkan listrik. Dengan demikian, baik pencahayaan alami yang sejuk maupun listrik akan dapat dihasilkan oleh pelapis kaca tersebut.Hal tersebut sangat dibutuhkan oleh sebagian besar bangunan perkantoran di bagian selatan.

Gambar 8.11a Lapisan kaca semitransparan/semibening PV digunakan sebagai lapisan kaca di sebuah skylight di gedung pabrik APS, California. (*Kiss & Catchcart*, arsitek © Richard Barnes, fotografer)

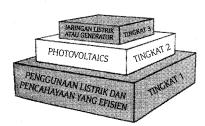
Gambar 8.11b Sel PV buram ditanam pada kaca bening. Jarak antar sel menentukan derajat naungan. Seperti terlihat dari bawah, kanopi jalan masuk dari gedung Aquatic Center di Georgia Institute of Technology diberi atap dengan rangkaian laminat 4,5-kilowatt Solarex PowerWall™ MSX-240/AC. Dengan alat perubahan yang terintegrasi, laminat menyediakan tenaga jaringan-synchronized AC. Mereka menggunakan bahan lapisan belakang Tedlar® yang bening untuk menekankan pada presisi dalam penempatan sel matahari dan menghasilkan pencahayaan matahari yang lembut di bawah kanopi.

8.12 PERANGKAT PENEDUH *PHOTOVOLTAIC*

Perangkat peneduh mempunyai aplikasi yang bagus untuk PC karena bisa dirancang sesuai dengan sudut kemiringan yang terbaik (Gbr. 8.12a dan b). Perangkat peneduh bisa berwujud buram atau dapat menggunakan pelapis kaca PV yang memiliki keanekaragaman transparansi.

PV juga dapat digabungkan dalam kanopi pintu masuk/jalan masuk atau struktur bebas (Gbr. 8.12c). Meskipun saat ini penggunaan peneduh untuk parkiran mobil pada daerah yang panas adalah mahal seperti kombinasi generator PV dengan struktur peneduh, harganya akan menjadi lebih terjangkau. Sebagaimana mobil-mobil listrik yang juga mulai menjadi hal yang lumrah, penggunaan PV pada struktur peneduh pun akan menjadi pilihan yang baik bagi tempat-tempat pengisian ulang listrik mobil-mobil tersebut (Gbr. 8.12d).

Gambar 8.12a Alat peneduh berikut ini telah dimiringkan dengan sudut pengumpulan yang terbaik pada bangunan *Center for Environmental Sciences and Technology Management (CESTM), State University of New York (SUNY)*, Albany. (Kawneer Company, Inc. © Gordon H.Schenck, Jr., 1996, fotografer)

Gambar 8.12b Foto jarak dekat gedung CESTM ini menunjukkan dengan jelas kemiringan perangkat peneduh PV. (Kawneer Company, Inc. © Gordon H. Schenck, Jr., 1996, fotografer)

Gambar 8.12c Kanopi pintu atau jalan masuk yang berbentuk seperti gua ini merupakan bagian dari bangunan *Georgia Tech Natatorium (Aquatic Center)*, semuanya terbuat dari modul PV. Lihat bagian bawah kanopi ini pada Gbr.8.11b). (dari dan © BP *Solarex*)

Gambar 8.12d PV sebagai lapisan atas struktur peneduh bagi tempat-tempat pengisian ulang listrik untuk mobil-listrik merupakan hal yang paling ideal. (*Sacramento Municipal Utility District*)

8.13 *PHOTOVOLTAIC*: BAGIAN DARI TINGKAT/STRATA KEDUA

Perlu dipahami bahwa pembangkitan listrik oleh PV merupakan bagian strata kedua dan ketiga pendekatan perancangan lingkungan (Gbr. 8.13). Tingkat pertama terdiri dari penggunaan perangkat listrik dan sistem pencahayaan yang efisien untuk memperkecil beban listrik. Tingkat kedua terdiri dari penggunaan PV untuk membangkitkan listrik yang bersih dan tahan lama. Tingkat ketiga terdiri dari penggunaan generator atau jaringan listrik yang memberi tidak begitu banyak tenaga listrik dan energi yang masih diperlukan dalam jumlah yang sedikit. Hal ini bukan merupakan pendekatan yang paling berkelanjutan, namun sering kali yang paling ekonomis.

Gambar 8.13 Seperti biasa, ketiga strata/tingkat pendekatan perancangan merupakan strategi yang paling logis dan berkelanjutan dalam perancangan (tanggap) lingkungan.

8.14 PENGUKURAN SISTEM *PHOTOVOLTAIC*

Sistem jaringan-gabungan memiliki cara pengukuran yang berbeda dengan sistem tipe berdiri sendiri, dan rancangan tersebut akan kita bahas nanti. Untuk sistem berdiri sendiri, pengukuran merupakan proses yang sangat penting karena jika terlalu besar akan menjadi pemborosan yang mahal. Seperti yang telah disebutkan di atas, tingkat tiga pendekatan perancangan ini, harus mengurangi beban listrik. Lebih lagi, kedua pengguna energi tingkat-rendah, yaitu pemanasan ruang serta pemanasan air untuk domestik, seharusnya tidak disuplai photovoltaic. Pemanasan matahari pasif merupakan pilihan utama bagi pemanasan ruang ataupun pemanasan air panas untuk domestik, dan cadangannya bisa berasal dari gas atau kayu.

Sebaiknya terdapat juga cadangan tenaga dari mesin generator atau sumber tenaga angin yang dapat diandalkan. Jika tidak, sistem PV menjadi lebih signifikan agar dapat menyimpan tenaga untuk kemungkinan cuaca buruk, yang biayanya akan lebih tinggi dan sebenarnya tidak diperlukan.

Pengukuran Sistem Berdiri Sendiri *(Stand Alone)*

Petunjuk berikut ditujukan untuk sistem berdiri sendiri dengan sumber tenaga cadangan yang terkadang harus digunakan. Gunakan cara singkat yang telah tersedia pada Tabel 8.14 untuk perkiraan pertama kali dan perhitungan selanjutnya untuk mendapat perkiraan yang lebih tepat pada subbab setelah ini.

Sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi pada musim dingin saat merancang rangkaian sistem PV di bagian utara karena cahaya berada pada jumlah waktu terbanyak, dan rangkaian PV melihat matahari untuk waktu yang paling sedikit. Di bagian selatan, rancangan untuk musim dingin tidak begitu kritis karena terdapat tambahan sekitar dua jam waktu penyinaran matahari. Karena perangkat pendingin ruangan *(air conditioning/ AC)* hampir wajib di bagian teng-

TABEL 8.14 *Perkiraan Metode untuk Mengukur Sistem Mandiri**

Tipe Bangunan	*Iklim**	*Ukuran Jaringan*** *(ft^2)*	*Penyimpanan Baterai**** *(ft^2)*
Perumahan kecil	Sejuk dan cerah	50	10
	Dingin dan berawan	100	20
	Panas dan lembap	100	
Perumahan sedang	Sejuk dan cerah	100	20
	Dingin dan berawan	500	100
	Panas dan lembap	500	100
Perumahan besar	Sejuk dan cerah	500	100
	Dingin dan berawan	1.000	200
	Panas dan lembap	1.000	200

*Iklim panas dan lembap memerlukan jaringan besar karena beban pendingin udara. Pada iklim dingin dan berawan, jaringan besar merupakan hasil dari efek kombinasi pencahayaan malam musim dingin yang panjang dan hari-hari berawan yang pendek untuk membangkitkan tenaga.
**Ukuran jaringan sangat kira-kira karena terdapat berbagai macam variasi pada *efficiency* sel.
***Sebuah ruang dengan luasan lantai seperti ini juga akan memiliki keseimbangan sistem (Balance of System/BOS) yang termasuk alat pengendali (*controller*), *inverter*, tombol, dan *circuit breakers*.

gara, puncak beban listrik sering kali terjadi pada musim panas. Pada daerah yang memiliki tingkat elevasi tinggi di bagian barat daya di mana bangunan bisa dirancang untuk menggunakan hanya sedikit atau sama sekali tidak ada AC, kondisi pada musim dingin sering kali penting.

Pengukuran Sistem PV Gabungan Jaringan

Sistem ini tidak memiliki batas rangkaian karena jaringan dapat memanfaatkan semua tenaga yang dihasilkan pada waktu puncak di sebagian besar Amerika Serikat. Biaya rangkaian ini justru merupakan penentu utama untuk besar ukuran. Karena biaya PV pada waktu sekarang tinggi, hanya orientasi yang dapat membangkitkan kekuatan besar yang sebaiknya dipakai. Saat biaya PV menurun, lebih banyak lagi bangunan yang akan melapisi permukaannya dengan *cladding* PV. Di rumah-rumah, hanya area atap yang mungkin dipergunakan untuk membangkitkan energi. Sementara itu, di bangunan komersial, institusi, serta bangunan industri, akan diletakkan juga pada dinding, atap, dan pelapis kaca untuk membangkitkan listrik. Subbab 8.16 akan membahas efesiensi dari berbagai orientasi.,

Jika perusahaan tenaga lokal kurang berminat mempromosikan PV, akan diperlukan pengukuran terhadap sistem gabungan jaringan PV sebagai sistem berdiri sendiri, tetapi tanpa baterai. Pendekatan ini akan meminimalkan kebutuhan untuk membeli tenaga dari bagian utilitas.

Deregulasi industri tenaga listrik akan mendorong harga waktu-harian yang akan membuat listrik menjadi sangat mahal pada waktu puncak. Karena sebagian besar permintaan listrik di Amerika Serikat memiliki puncak pada hari-hari yang panas dan cerah pada musim panas, sebagian besar sistem gabungan jaringan PV sebaiknya juga memiliki puncak pada saat yang sama.

Salah satu kemungkinan adalah perusahaan tenaga melakukan penyewaan ruang atap dari para pengguna agar dapat membangkitkan tenaga yang ia butuhkan. Ini membuat bagian utilitas menghindari biaya yang sangat besar dalam sistem distribusinya. Hal ini sudah terjadi di Kota Sacramento, California pada *Sacramento Municipal Utility District (SMUD)*. Sekitar 90 utilitas listrik telah membentuk Kelompok Utilitas Photovoltaic (*Utility Photovoltaics Group*) untuk mempromosikan dan mensponsori instalasi PV pada atau sekitar bangunan.

Untuk menghindari terjadi berbagai masalah dengan adanya perangkat pengumpul yang ditambahkan pada sudut aneh dan tidak menarik, bangunan-bangunan baru sebaiknya diorientasikan agar atap mereka menghadap ke arah selatan, mendekati kemiringan yang terbaik. **Mulai sekarang, semua bangunan seharusnya menggunakan atau mengantisipasi cladding PV.**

8.15 MENCARI UKURAN JARINGAN *PHOTOVOLTAIC* UNTUK SEBUAH BANGUNAN BERDIRI-SENDIRI DENGAN MENGGUNAKAN METODE KALKULASI PENDEK

Ukuran rangkaian Photovoltaic (PV) bergantung pada faktor berikut:

1. jumlah tenaga listrik yang diperlukan setiap harinya (KWH/day);
2. sistem pengurangan *efficiency*[4] di dalam pengubah (*inverters*),

TABEL 8.15A *Lembaran Kerja untuk Menentukan Beban Listrik*

Perangkat	Watts*	Jumlah Jam yang Digunakan per Hari	*Watts-Hours* (Waktu-Watts) per Hari
Cahaya			
Lemari Es**			
Mesin Cuci			
Pemanas			
AC/*Air Conditioning*			
Kipas Exhaust			
Televisi			
Komputer			
Beban listrik lainnya			
Lain-lain			
	Total *Watts-Hours* Per Hari..........................		

*Cari jumlah watts yang sesungguhnya dari perangkat yang akan digunakan, atau lihat Tabel 8.15 B

**Karena siklus pendinginan mati dan nyala, tipikal mereka akan berjalan sekitar 6 jam per hari

TABEL 8.15B *Ukuran Watt untuk Berbagai Macam Perangkat*

Device	*Wattage*
Lampu Pijar* (wattage of lamps)	–
Lampu neou (wattage of lamps plus 10% for ballast)	–
Coffee pot	200
Microwave	1.000
Mesin Pencuci Piring	1.300
Mesin Cuci	500
Vacuum cleaner	500
Pengering Pakaian (use gas)	350
Pemanas	500
Air conditioner (central)	3.000
Kipas Gantung	30
Komputer & printer	200
Televisi & Video	200
Stereo	20
Lemari Es -Konvensional	500
Lemari Es -Efisiensi Tinggi	200

*Penggunaan lampu *incandescent* dan lampu halogen (lihat Bab 14) yang paling sedikit.

pengendali (*collectors*), dan lain-lain (50 persen adalah tipikal);

3. jumlah radiasi matahari yang ada setiap harinya (KWH/m²/day);
4. tenaga yang dihasilkan oleh module PV (KW/m²).

Langkah Untuk Mengukur Rangkaian PV

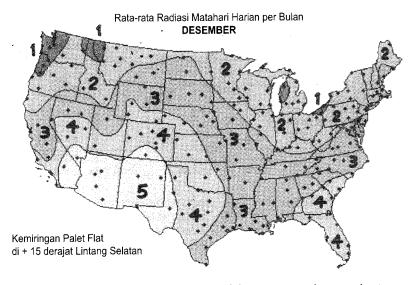
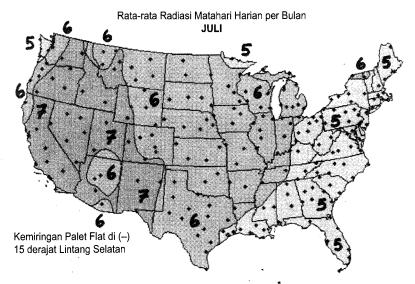
1. Gunakan Tabel 8.15A dan 8.15B untuk menentukan beban listrik per hari dalam satuan watt per hari (*watt-hours per day*)
   WH/day = (____)
2. Tentukan beban setelan dengan mengalikan WH/day (Langkah a) dengan 1.5 untuk mendapatkan kehilangan sistem
   (WH/day) x 1.5 = (____)
3. Tentukan energi matahari yang tersedia pada lokasi selama satu hari secara "waktu-matahari" dari peta Gambar. 8.15a untuk beban puncak pada musim dingin dan peta Gambar. 8.15b untuk beban puncak pada musim panas.
   "waktu-matahari" = (____)
4. Untuk mendapatkan puncak-watt yang diperlukan (W_p), bagi beban setelan (Langkah 2) dengan waktu-matahari (Langkah 3).

$$W_p = \frac{\text{setelan (WH/day)}}{\text{"waktu-matahari"}} = (____)$$

5. Temukan ukuran rangkaian dengan membagi W_p (Langkah 4) dengan:
   12 W/ft² untuk sel silikon kristal satuan
   atau 10 W/ft² untuk sel silikon *polycrystalline*
   atau 5 W/ft² untuk sel silikon *amorphous* atau sel film-tipis
   atau 5 W/ft² untuk lapisan atap dengan sambungan PV berdiri
   atau 2.5 W/ft² untuk sirap PV

$$A = \frac{W_p}{W/ft^2} = (____)\ ft^2$$

Seperti yang telah diperkirakan, semakin sel efisien semakin mahal ongkosnya. Sel yang tidak begitu efisien kadang-kadang lebih menghasilkan watts/dolar, dan area atap pada sebagian besar rumah tinggal lebih dari cocok untuk menggunakan sel dengan efisiensi rendah dan tetap membangkitkan tenaga yang diperlukan, khususnya jika atap tersebut menghadap ke selatan dengan sudut kemiringan yang tepat.

Contoh:
Tentukan ukuran rangkaian sebuah rumah tinggal yang berdiri sendiri/mandiri yang terletak di tengah kota Pennsylvania, Amerika Serikat (40° garis lintang). Beban total dalam satuan watt per jam per hari (*watt per hours per day*) adalah 3.000 WH/day dan atapnya terbuat dari bahan lapisan atap yang memiliki sambungan PV berdiri menghadap ke selatan dengan sudut

Gambar 8.15a Rata-rata radiasi matahari dalam satuan waktu-matahari pada bulan Desember untuk permukaan dengan kemiringan sama dengan garis lintang ditambah dengan 15 derajat. Karena bulan Desember memiliki penyinaran matahari yang paling sedikit, hal itu sering kali digunakan untuk menentukan sistem PV. (Dari *National Research Renewable Energy Laboratory-NREL*)

Gambar 8.15b Rata-rata radiasi matahari dalam satuan waktu-matahari pada bulan Juli untuk permukaan dengan kemiringan sama dengan garis lintang dikurangi dengan 15 derajat (Dari *National Renewable Energy Laboratory-NREL*).

kemiringan 55° (garis lintang ditambah dengan 15 derajat untuk puncak musim dingin)

Langkah 1 Gunakan beban yang telah diberikan, yaitu 3.000 WH/day

Langkah 2 Tentukan beban setelan dengan mengalikannya dengan 1,5

3.000 (1,5) = 4.500 WH/day

Langkah 3 Tentukan waktu-matahari dengan menggunakan Gbr.8.15a untuk lokasi di bagian utara Waktu Matahari = 2H/day

Langkah 4 Tentukan puncak-watt (*peak-watt*) W_p dengan membagi beban setelan dengan waktu matahari

4.500 / 2 = 2.250 W_p

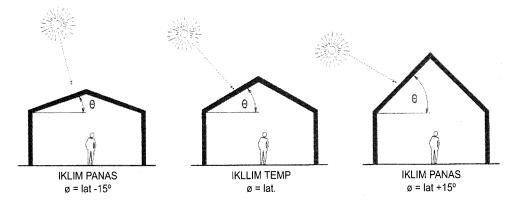
Langkah 5 Karena lapisan atap yang memiliki sambungan PV berdiri dispesifikasikan, bagilah W_p dengan 5 W/ft^2 untuk menentukan luasan rangkaian

2.250/5 = 450 ft^2

8.16 PETUNJUK PERANCANGAN

Gunakan petunjuk berikut ini untuk mendapatkan keuntungan sistem photovoltaic (PV) dengan metode yang terurai berikut ini.

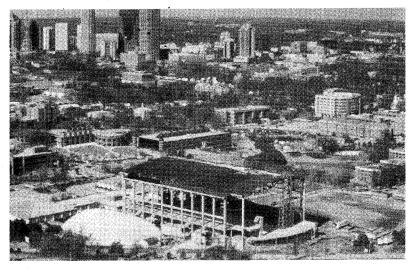
1. Gunakan *Building-Integrated Photovoltaics/BIPV* (photovoltaics tergabung dengan bangunan) untuk menghemat biaya dan meningkatkan nilai serta bentuk estetika bangunan tersebut.
2. Gunakan orientasi serta kemiringan dengan urutan yang menurun terhadap *efficiency* (mulai dari yang paling hemat).
   a. Orientasi selatan memiliki kemiringan dengan (lihat Gbr. 8.16):
      i. garis lintang untuk menghasilkan energi maksimal per tahun;
      ii. garis lintang -15 derajat untuk waktu puncak musim panas (tenggara);
      iii. garis lintang +15 derajat untuk waktu puncak pada musim dingin (utara)
   b. Dinding selatan
   c. Dinding barat
   d. Dinding timur
3. Pastikan rangkaian ternaungi sesedikit mungkin. Hindari kemungkinan rangkaian terkena naungan, walaupun hanya sedikit untuk menghindari kejadian yang dikenal dengan istilah "sindrom rangkaian lampu Natal" ("*Christmas-lights-in-series-syndrome*"), di mana jika satu lampu mati, semuanya juga akan mati.

   Untungnya, performa penyinaran matahari tidak terpengaruh banyak jika terjadi pelencengan terhadap orientasi ataupun kemiringan yang terbaik. Sebagai contoh, di sebagian besar Amerika Serikat, terjadi hanya pengurangan 10 persen jika kemiringan berada pada 15 derajat hingga 60 derajat dan orientasi berada pada 45 derajat dari selatan (*Environmental Building News*, 1999)
4. Pertahankan module berada dalam suhu sejuk dengan memberikan ventilasi terhadap bagian belakang mereka (sel yang sejuk lebih banyak membangkitkan listrik dibanding dengan yang dingin).
5. Hindari rangkaian horizontal karena mengumpulkan kotoran dan salju.
6. Di daerah salju letakkan module, dengan kimiringan yang sangat curam (hampir tegak) agar salju dapat dengan mudahnya tergelincir (tidak mengumpul).

Gambar 8.16 Kemiringan yang direkomendasikan untuk rangkain PV untuk:
(a) pembangkitan maksimal pada musim panas
(b) pembangkitan maksimal tahunan
(c) pembangkitan maksimal pada musim dingin

8.17 JANJI *PHOTOVOLTAIC*

Dalam arsitektur, solusi yang sangat baik adalah yang dapat menghasilkan banyak keuntungan di samping permasalahan utama. Dengan demikian, sebuah atap akan tampak lebih cantik jika, di samping fungsi konvensionalnya, atap tersebut juga menghasilkan semua energi yang dibutuhkan oleh bangunannya. Jika photovoltaic (PV) menggantikan semua bagian lapisan atap, jumlah energi yang dihasilkan akan melebihi yang dibutuhkan oleh sebuah rumah. Akibatnya, setiap rumah akan menjadi eksportir energi dan tidak lagi menjadi beban bagi lingkungan, tetapi menjadi asetnya.

Saya ingat saat berdiri di sebuah bangunan tinggi sambil melihat pemandangan rangkaian atap Kota New York, dan berpikir betapa sayangnya ribuan atap datar dan kosong ini tidak dimanfaatkan sesuai dengan kemampuannya. Hanya sebagian kecil dari atap-atap tersebut yang dimanfaatkan sebagai taman atau sebagai pendukung menara pendingin. Pertimbangkan nilai yang sangat besar terhadap sumber ini, yang memiliki luas sama dengan luas lahan yang dibangun. Jika atap-atap ini dilapisi oleh PV, energi yang dihasilkan akan berada tepat di tempat yang membutuhkannya sehingga meminimalkan transmisi yang hilang (Gbr. 8.17). Dengan deregulasi industri tenaga listrik, seorang pengusaha dapat menawarkan sebuah atap berkualitas tinggi, tanpa pemeliharaan, sebagai pembangkit energi kepada pemilik bangunan. Begitu besar energi yang dihasilkan, di mana energi tersebut yang dapat diperbarui, bersih, dan dapat dibangkitkan tepat di tempat yang dibutuhkan.

Jika semua atap dan dinding bagian selatan dilapisi PV, sebagian besar kota dan desa akan dapat menghasilkan kebutuhan

Gambar 8.17 Sebuah rangkaian 360-kilowatt yang menggunakan module *Solarex*™ MSX-120, tertanam pada atap bangunan Aquatic Center ini. Instalasi ini berlokasi di lahan Georgia Tech University, Atlanta, GA., yang dulunya pernah menjadi lokasi pelaksanaan Olimpiade Musim Panas tahun 1996. Dari dan© *BP Solarex*)

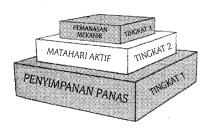
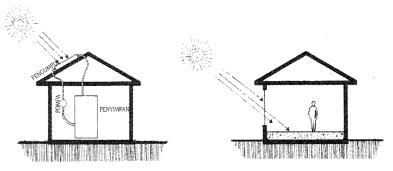
energi mereka sendiri. Meskipun kota-kota besar, terutama dengan jumlah bangunan bertingkat tinggi yang cukup padat, tidak akan bisa menjadi mandiri terhadap energi, mereka hanya perlu mengimpor energi yang lebih sedikit dibanding dengan sekarang. Semua konstruksi bangunan baru sebaiknya dirancang untuk memiliki PV atau setidaknya memiliki rancangan yang siap untuk ditambahkan PV saat harganya menurun. Untuk kasus seperti ini, sementara di pasang sebuah kulit khusus untuk cuaca hingga bahan –terintegrasi– bangunan memiliki harga yang lebih kompetitif.

Aplikasi PV tidaklah terbatas pada Sunbelt, tetapi juga cocok untuk hampir semua iklim. Di negara Norway (Norwegia); yang terletak di utara seperti Alaska, lebih dari 50.000 rumah liburan menggunakan sistem tenaga PV.

8.18 KEEFEKTIVITASAN BIAYA APLIKASI PENYINARAN MATAHARI AKTIF

Kompetisi utama bagi photovoltaic (PV) adalah Alat pengumpul yang dirancang panen sinar matahari untuk menghasilkan air atau udara panas. Udara panas digunakan terutama untuk memanaskan udara, sedangkan air panas digunakan untuk berbagai macam keperluan seperti air panas untuk kebutuhan rumah tangga, pemanas ruangan, pendingin ruangan, pemanas kolam renang, dan air panas untuk kebutuhan komersial. Biaya PV sekarang maupun di masa mendatang tetap akan lebih ekonomis untuk menghasilkan air atau udara panas secara langsung dibanding dengan menggunakan listrik PV. Selain itu, seperti yang dijelaskan pada Bab 3, *tidaklah baik* mengubah secara langsung energi tingkat tinggi, seperti listrik, menjadi energi tingkat rendah seperti panas.

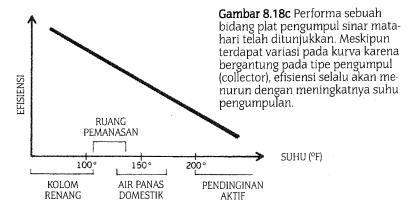
Cara yang paling berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan akan air atau udara panas bagi bangunan adalah menerapkan ketiga strata/tingkat pendekatan perancangan (Gbr.8.18a). Tingkat pertama memperkecil kebutuhan dengan efisiensi. Pada tingkat kedua, pengumpul penyinaran matahari aktif memanen matahari. Hanya pada tingkat ketiga terdapat sistem perangkat mekanikal yang menggunakan energi yang tidak dapat diperbarui untuk mengumpulkan sisa energi lainnya yang masih dibutuhkan, yang belum tercapai dari tingkat satu dan dua.

Istilah sinar **matahari aktif** digunakan untuk menunjukkan perangkat mekanis yang tujuan utamanya adalah mengumpulkan energi sinar matahari dalam bentuk panas, lalu menyimpannya untuk keperluan di lain hari. Cairan yang bekerja terkadang adalah udara, tetapi sering kali air yang dipompa ke tangki penyetoran. Sistem seperti ini dinamakan sebagai penyinaran matahari aktif karena pompa yang ada dan lebih penting lagi karena ia melakukan satu hal, yaitu mengumpulkan panas. Di sisi lain, sistem yang pasif, seperti yang telah dibahas dalam bab sebelum ini, menggunakan hanya bahan dasar bangunan untuk mengumpulkan panas (Gbr. 8.18b). Karena bahan bangunan memang sudah ada, penyinaran matahari pasif bisa dinyatakan gratis atau hampir gratis. Lebih lagi, karena tidak terdapat bagian perangkat mekanikal yang bisa rusak, sistem pasif ini lebih bisa diandalkan dan tidak memerlukan atau hanya

Gambar 8.18a Kebutuhan udara yang hangat serta air yang panas akan paling baik disediakan dengan menggunakan ketiga strata/tingkat pendekatan perancangan ini.

Gambar 8.18b Penyinaran matahari aktif memerlukan perangkat mekanikal khusus agar dapat bekerja dengan baik, sedangkan penyinaran matahari pasif bergantung hanya pada bangunannya sendiri. Keduanya memanfaatkan tenaga alami matahari.

TABEL 8.18 *Penghematan Biaya Aplikasi Penyinaran Matahari Aktif*

Aplikasi	*Ekonomis?*
Pemanasan kolam renang	Ya, untuk banyak kasus (dua-tiga tahun modal kembali)
Air panas untuk kebutuhan rumah tangga	Sering kali
Pemanasan ruang dengan penyinaran matahari	Terkadang (jarang di Selatan, sering kali di iklim utara yang dingin)
Pendinginan ruang dengan penyinaran matahari	Tidak pernah *
Penghilangan lembap	Mungkin dengan bahan pengering
Proses air panas	Sering kali

*Ini tidak diterapkan pada AC yang menggunakan PV, yang tidak termasuk di dalam definisi "penyinaran matahati aktif" yang ketat.

Gambar 8.18c Performa sebuah bidang plat pengumpul sinar matahari telah ditunjukkan. Meskipun terdapat variasi pada kurva karena bergantung pada tipe pengumpul (collector), efisiensi selalu akan menurun dengan meningkatnya suhu pengumpulan.

sedikit membutuhkan pemeliharaan. Jadi, secara keseluruhan disepakati bahwa penyinaran matahari pasif merupakan pilihan terbaik dalam mendapatkan pemanas ruangan ketika dapat berfungsi. Penyinaran matahari pasif tidak berfungsi, misalnya, jika hanya atap bangunan bertingkat banyak yang memiliki akses terhadap matahari musim dingin. Dalam kasus ini, penyinaran matahari aktif menjadi pilihan yang lebih cocok. Akses sinar matahari sering kali menjadi masalah di dalam kota, lokasi dengan pepohonan yang padat (terutama jika tipe pohon adalah *evergreen*), dan juga di daerah tinggi di mana matahari musim dingin mudah terhalangi. Jadi, penyinaran matahari aktif terkadang digunakan untuk pemanasan ruangan, tetapi lebih sering untuk memanaskan air untuk kebutuhan lainnya.

Terdapat lima aplikasi air panas pada bangunan yang berbeda: pemanasan kolam renang, air panas untuk kebutuhan rumah tangga, air panas untuk kebutuhan komersial/institusi, pemanasan ruang, serta pendinginan dengan sinar matahari. Sayangnya, pendinginan sinar matahari aktif, meskipun menggunakan teknologi, tidaklah ekonomis sehingga tidak akan dibahas di sini. PV merupakan cara yang lebih baik untuk menyejukkan ruangan dengan energi sinar matahari. Air panas untuk kebutuhan komersial/institusional mirip dengan air panas untuk keperluan rumah tangga. Bangunan seperti rumah sakit, apartemen, penjara, tempat cuci mobil, rumah tinggal bagi manula, tempat olahraga, restoran, serta hotel, semuanya menggunakan jumlah air panas yang banyak yang dapat dihasilkan secara ekonomis dengan menggunakan sinar matahari aktif. Lihat Tabel 8.18 untuk keefektifan biaya dari beberapa aplikasi yang berbeda ini.

Mengapa penggunaan sinar matahari aktif untuk pemanasan kolam renang merupakan hal yang paling cocok? Satu alasannya adalah kolam renang hanya akan dipanaskan pada musim semi, panas, dan gugur untuk memperpanjang musim berenang saat terdapat energi matahari yang lebih banyak dibanding pada musim dingin. Alasan lainnya adalah berdasar Hukum Termodinamika: semua pengumpul sinar matahari memiliki efisiensi tertinggi pada suhu terendah saat mereka bekerja. Karena suhu kolam renang cukup rendah (sekitar 80°F), sangat tinggi efisiensi pengumpul sinar matahari (Gbr. 8.18c). Efisiensi dari suhu rendah ini juga terdapat pada dua bentuk pemanasan ruang. Sebuah sistem pemanasan lantai dengan tenaga pancaran dapat memanfaatkan air yang dipanaskan hingga 90°F, dan sebuah pompa panas dapat meningkatkan pengumpulan panas dari sinar matahari. Pompa panas akan diperjelas pada Bab 16.

Air panas untuk kebutuhan rumah tangga juga merupakan penerapan yang baik bagi penyi-

naran matahari aktif, tetapi dengan alasan yang berbeda. Karena air panas keperluan rumah tangga dibutuhkan sepanjang tahun, alatnya tidak pernah berhenti bekerja. Sayangnya, ini tidak sama untuk pemanas ruangan. Tidak hanya pemanas ruangan dengan sinar matahari akan berhenti berfungsi untuk sebagian waktu dalam setahun, namun saat musim dingin, jumlah energi matahari yang ada merupakan yang paling sedikit. Akibatnya, sistem aktif untuk pemanas ruangan akan menjadi kurang efisien dibanding pemanasan air panas untuk keperluan rumah tangga atau kolam renang. Walaupun demikian, terdapat sebuah pengecualian yang penting. Ventilasi udara dengan pemanasan awal pada iklim yang dingin dapat dilaksanakan secara ekonomis dengan sistem yang dinamakan "*Solarwall*" (dinding sinar matahari), yang akan dibahas di Subbab 8.24.

Keterbatasan sistem penyinaran matahari aktif lebih pada sisi ekonomisnya dibanding teknis. Ketika sumber energi alternatif yang murah tidak dapat ditemukan, energi sinar matahari menjadi populer. Sistem penyinaran matahari aktif sudah menjadi hal yang lumrah di berbagai negara –jutaan sistem sekarang sedang terpasang di Eropa, Jepang dan Israel. Sesungguhnya, di Amerika Serikat, sistem penyinaran matahari aktif telah dijual semenjak pergantian abad ini dan menjadi populer di Florida, serta bagian selatan California (Gbr. 8.18d). Hingga tahun 1941, sekitar 60.000 sistem air panas dengan penyinaran matahari telah ada di Amerika Serikat. Setelah itu penggunaan energi sinar matahari menurun, bukan karena tidak berfungsi dengan baik, tetapi timbul beberapa alternatif yang lebih murah, dan sudah tidak trend lagi. Karena hanya orang miskin yang tetap menyimpan sistem atap sinar matahari mereka, masyarakat mendapat persepsi negatif terhadap energi sinar matahari.

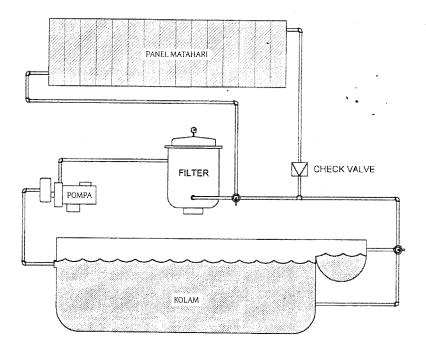
Gambar 8.18d Contoh iklan sebuah pemanas air yang menggunakan sinar matahari, yang ada pada tahun 1892. (Dari Special Collectors, Romiane Collection, Univeristy of California, Santa Barbara; dikutip dari *The Golden Thread* oleh Ken Butti dan John Perlin.)

Karena pemanas kolam renang dengan sinar matahari aktif paling efektif dalam hal biaya dan merupakan sistem yang paling sederhana, sistem ini akan dibahas terlebih dahulu.

8.19 PEMANASAN KOLAM RENANG DENGAN PENYINARAN MATAHARI AKTIF

Seperti telah dibahas sebelumnya, pemanas kolam renang yang menggunakan sinar matahari akan menghemat biaya karena mereka mengumpulkan sinar matahari pada bagian tahun yang terdapat banyak energi matahari dan karena mereka mengumpulkan panas pada suhu yang rendah (70°F hingga 90°F). Pada suhu yang cukup rendah ini, alat pengumpul tidak hanya sangat efisien, tetapi juga sangat sederhana dan murah (Gbr.9.19a). Bagian lain dari sistem tersebut juga tidak terlalu mahal karena alat filtrasi yang sudah ada dapat digunakan untuk memberi sirkulasi pada air (Gbr.8.19b). Dan tidak seperti pemanas dengan penyinaran matahari aktif, perlindungan terhadap pembekuan tidak dibutuhkan karena sistem ini tidak digunakan pada musim dingin.

Seperti pada bangunan, langkah pertama data memanaskan kolam renang adalah untuk mengurangi panas yang hilang. Karena sebagian besar panas sudah hilang dengan penguapan, dibutuhkan penutup kolam renang. Pembahasan di atas adalah untuk kolam renang ruang luar. Untuk kolam renang ruang dalam yang dapat digunakan sepanjang tahun, sistem penyinaran matahari

Gambar 8.19a:Untuk membuat alat pengumpul sinar matahari untuk sebuah kolam renang tidaklah mahal dan sederhana karena mereka tidak memerlukan penutup kaca ataupun bahan insulasi. Sebagian terbuat dari plastik yang fleksibel yang dapat dikirim secara gulungan (Dari Dan Cuoshi © *Home Energy Magazine*)

Gambar 8.19b Sebuah tipikal sistem pemanas kolam renang, yang menggunakan perangkat filtrasi yang telah tersedia pada sistem kolam renangnya untuk memberi sirkulasi pada air. (*Sun Trapper Solar System Inc.*)

aktif yang serupa dengan yang digunakan untuk air panas kebutuhan rumah tangga, pembahasan di bawah ini akan diperlukan.

Cara Singkat untuk Mencari Ukuran pada Alat Pengumpul Kolam Renang

1. Untuk daerah yang panas di bagian selatan Amerika Serikat, dengan kemiringan dan orientasi pada pengumpul yang bagus,* gunakan pengumpul dengan luas sama dengan 50 persen dari luas kolam renang.
2. Untuk daerah dingin di bagian utara Amerika Serikat, dengan kemiringan dan orientasi pada pengumpul yang bagus,* gunakan pengumpul dengan luas yang sama dengan luas kolam renang.
3. Untuk daerah negara bagian yang terletak di tengah-tengah, gunakan pengumpul dengan luas yang sama dengan 75 persen dari luas kolam renang.

8.20 SISTEM AIR PANAS DENGAN PENYINARAN MATAHARI

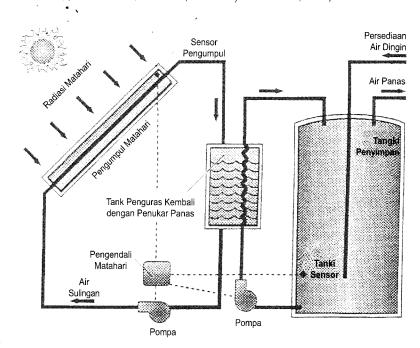
Karena sebagian besar bangunan memerlukan air panas, sebagian besar sistem aktif lebih menggunakan air daripada udara seba-

*Orientasi yang bagus adalah dalam jangkauan 20 derajat dari selatan dan kemiringan yang baik juga (garis lintang-15 derajat). Untuk orientasi dan kemiringan yang cukup, tambahkan 25 persen luasan pengumpul, dan untuk orientasi dan kemiringan yang buruk tambahkan 50 persen.

gai perantara pemindahan panas dan juga perantara penyimpan panas. Setiap sistem wajib untuk memiliki sebuah pengumpul, cairan pemindah panas, dan sebuah perangkat penyimpan. Sebagai pelindung terhadap pembekuan dan mendidih, sebagian sistem air memanfaatkan campuran air dengan campuran anti-bekü. Sebuah tangki terinsulasi di ruang dalam penyimpankan air panas. Alat pengumpul harus lebih canggih dibanding dengan yang digunakan pada kolam renang karena harus membangkitkan suhu sedang hingga suhu tinggi (120°F hingga 140°F) meskipun di saat hari yang sangat dingin.

Tipe alat pengumpul yang paling sering ditemukan dan digunakan untuk menghasilkan air panas untuk keperluan rumah tangga, dinamakan **pengumpul plat datar**, yang pada dasarnya terbuat dari sebuah plat logam dilapisi dengan **permukaan hitam pilihan** untuk mengurangi panas yang hilang dari radiasi ulang (lihat Subbab 3.11). Sebuah penutup kaca menghasilkan efek rumah kaca untuk memaksimalkan energi yang terkumpul, dan insulasi digunakan untuk mengurangi panas yang hilang dari belakang dan samping pengumpul (Gbr.8.20a). Air di pompa melewati pipa-pipa yang terhubung dengan plat pengumpul, dan air yang telah dipanaskan disimpan dalam tangki yang terletak di dalam bangunan. Untuk menghindari kontaminasi pada air panas, sering kali digunakan alat pengganti panas.

Saat alat pengendali merasa air telah menjadi lebih hangat di dalam pengumpul dibanding dengan di dalam tangki penyimpan, pompa akan diakftifkan, dan saat matahari terbenam dan alat pengumpul lebih dingin dibanding dalam tangki penyimpan, maka alat pengendali akan otomatis mematikan pompa. Pada sebuah aturan yang khusus, yang dinamakan sebuah **sistem penyerapan-kembali (*drain-back system*)**, air akan menyerap ke dalam tangki yang terletak di dalam bangunan saat pompa berhenti (Gbr. 8.20b). Jika pompa

Gambar 8.20a Sebuah tipikal plat pengumpul yang dirancang untuk memanaskan cairan. (Dari *Architectural Graphic Standards,* Ramsey/Sleeper, edisi ke-8, John R. Hoke, editor © John Wiley & Sons Inc., 1988)

Gambar 8.20b Sistem *drain-back* (menguras-kembali), pemanas air dengan penyinaran matahari. Untuk menghindari kontaminasi air panasnya, sebuah dinding pengganti panas berlapis dua direndam di dalam tangki penyimpanan. Sebuah sistem pemanas ruang juga dapat memanfaatkan air panas yang terdapat di dalam tangki ini. (Dari Kantor Konservasi Energi Negara Bagian Texas, Fact Sheet #10)

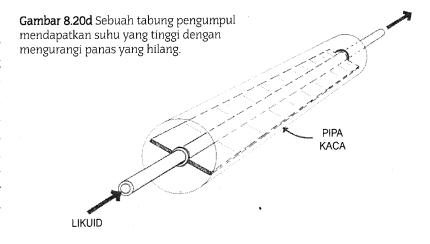
tidak berfungsi, tindakan ini akan mencegah pembekuan dan keadaan mendidih dalam pengumpul, tanpa harus menggunakan campuran antibeku. Susunan lainnya digunakan sesuai dengan iklim serta perusahaan yang membuat sistem tersebut.

Sangatlah tidak praktis untuk merancang sebuah sistem yang 100 persen menggunakan penyinaran matahari karena peserdiaan sinar matahari tidak teratur. Akan memerlukan sebuah pengumpul sinar matahari yang sangat besar dengan sistem penyimpan yang juga sangat besar untuk menghasilkan air panas setelah seminggu dengan cuaca yang dingin dan berawan. Karena sebuah sistem yang sebesar ini akan menjadi terlalu berlebihan di minggu-minggu yang memiliki sinar matahari konstan, dan keseluruhan efisiensi akan rendah. Dengan demikian, sebuah sistem yang 100 persen menggunakan penyinaran matahari tidak ekonomis; presentase keseluruhan beragam, namun sering kali berkisar sekitar 60 hingga 80 persen.

Saat air yang sangat panas dibutuhkan. Alat pengumpul khusus akan diperlukan. Antara dengan mengonsentrasikan sinar matahari (Gbr. 8.20c) atau dengan mengurangi panas yang hilang (Gbr.8.20d), air akan dapat dipanaskan di atas titik didih.

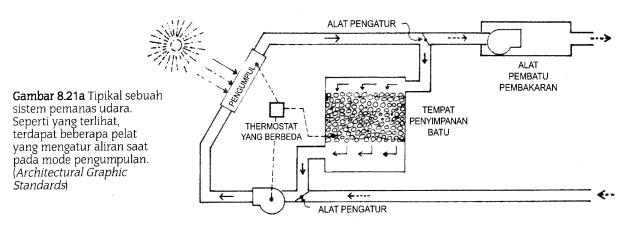
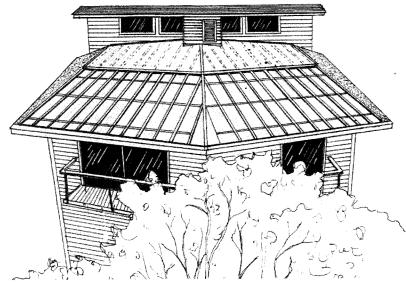
Gambar 8.20c Sebuah pengumpul terkonsentrasi menggunakan cermin parabola untuk mendapatkan suhu yang tinggi.

Gambar 8.20d Sebuah tabung pengumpul mendapatkan suhu yang tinggi dengan mengurangi panas yang hilang.

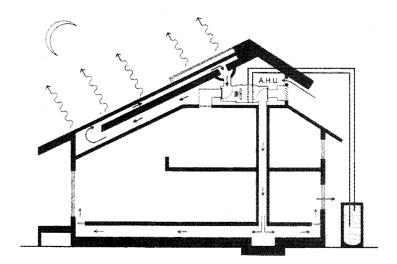
8.21 PENGUMPUL UDARA PANAS DENGAN PENYINARAN MATAHARI

Pengumpul udara panas digunakan terutama pada pemanasan ruang. Kekurangan utama dari sebuah udara sebagai cairan pengumpul adalah: alat pengumpul dan sistem pemipaan berbentuk besar, susah untuk menghindari kebocoran udara, dan sangat tidak nyaman untuk memanaskan air panas untuk keperluan rumah tangga dengan udara panas. Keuntungannya adalah: udara tidak membeku ataupun mendidih, pembocoran tidak menghasilkan kerusakan, dan udara yang hangat dapat digunakan secara langsung untuk menghangati bangunan. Sistem-sistem yang awal menyimpan panas pada tempat penyimpan yang telah diisi dengan batu (Gbr. 8.21a). Kemungkinan untuk lebih ekonomis adalah untuk menyimpan panas di dalam bangunannya sendiri, seperti pada sebuah sistem yang sering dilaksanakan di Jepang terlihat di Gambar. 8.21b hingga 8.21f.

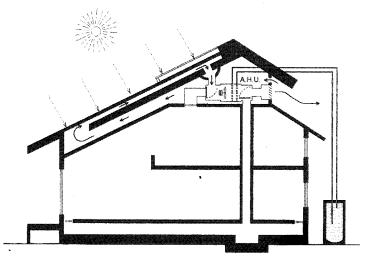
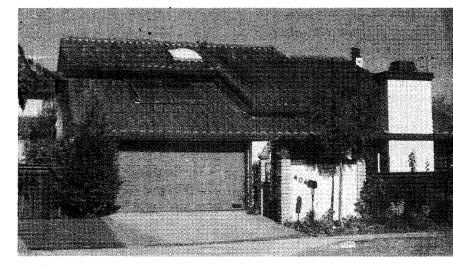
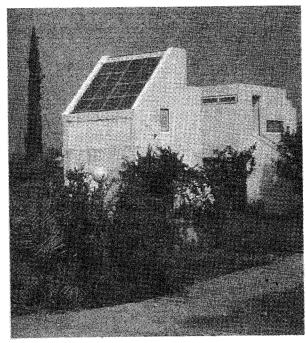
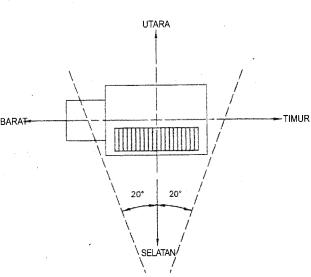
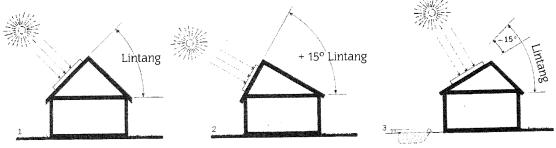
8.22 MERANCANG SEBUAH SISTEM PENYINARAN MATAHARI AKTIF

Karena pengeluaran dari perangkat yang menggunakan sinar matahari, sistem ini harus dirancang sehemat mungkin. Sangatlah penting untuk memaksimalkan eksposur sinar matahari dengan mengarahkan alat pengumpul kepada matahari dan meminimalkan naungan pada pengumpul saat ia sedang mengumpulkan energi mulai dari pukul 9:00 (pagi) hingga 15:00 (sore).

Gambar 8.21a Tipikal sebuah sistem pemanas udara. Seperti yang terlihat, terdapat beberapa pelat yang mengatur aliran saat pada mode pengumpulan. (*Architectural Graphic Standards*)

Gambar 8.21b Sebuah sistem penyinaran matahari aktif yang populer di negara Jepang menggunakan pengumpul udara panas khusus dan menggunakan lantai beton untuk menyimpan panas tersebut. Sistem pengumpul menutupi seluruh bagian atap, namun karena alasan ekonomis, hanya sepertiga bagian atas yang terlapisi oleh kaca. Sistem ini digunakan untuk rumah, sekolah, serta bangunan publik lainnya yang kecil. (*Oku Mura of the OM Solar Association/OM Insititue*)

Gambar 8.21c Mode Siang Hari pada musim Dingin: Udara luar yang segar yang memasuki ventilasi atap loteng pertama-tama dipanaskan dahulu oleah bagian yang tidak terlapisi atap logam, lalu dipanaskan sepenuhnya secara efisien oleh bagian yang dilapisi oleh kaca. Unit penanganan udara lalu menghembuskan udara tersebut ke bawah plat beton lantai untuk memenasi bangunan sekaligus menyimpan panas tersebut di dalam plat beton. (*Oku Mura of the OM Solar Association/OM Insititue*)

Gambar 8.21d Mode Malam Hari pada musim Dingin: Saat diperlukan sebuah koil pemanas pembantu di dalam unit penangan udara yang memasuki panas pada plat beton. (*Oku Mura of the OM Solar Association/OM Insititue*)

Gambar 8.21e Mode Malam Hari pada musim Panas: Udara ruang luar disejukkan dengan melewati pengumpul atap yang logam yang mengeluarkan panas keluar ke langit malam. Udara sejuk ini lalu mendinginkan plat lantai dan ruangan interior dalam mempersiapkan untuk hari panas esoknya. (*Oku Mura of the OM Solar Association/OM Insititue*)

Gambar 8.21f Mode Siang Hari pada musim Panas: Mirip dengan pada musim dingin, udara ruang luar melewati pengumpul, namun sekarang panas yang di pindahkan ke dalam koil air panas lalu dihisap keluar ke ruang luar. Dalam prosesnya, atap dan loteng didinginkan oleh aliran udara ruang luar ini. Perhatikan bahwa ventilasi loteng serta louver penghisap udara dari unit penangan udara terpisah horizontal dengan jarak yang cukup besar. (*Oku Mura of the OM Solar Association/OM Insititue*)

Di sebagian kasus, atap memiliki akses ke sinar matahari yang terbaik (Gbr.8.22a dan b). Pemasangan pada atap, juga akan menghematkan lahan dan meminimalisasikan potensi untuk kerusakan yang mungkin terjadi jika pengumpul dipasang di tanah. Sebuah studi model sebuah mesin matahari merupakan cara yang paling efektif untuk memeriksa akses sinar matahari. Lihat Bab 11 untuk sebuah pembahasan mengenai akses sinar matahari.

Gambar 8.22a:Tambahan sebuah bangunan yang terdiri dari dua pengumpul plat datar untuk penggunaan air panas untuk kebutuhan rumah tangga. Terdapat juga suhu rendah khusus, pengumpul kolam renang yang terbuat dari plastik yang lentur yang menyelimuti genteng atap. (kanan atas)

Gambar 8.22b Pengumpul sinar matahari merupakan sebuah bagian integral daripada rancangan sebuah atap. (Dari dan © *Chromagen-Solar Energy Systems, Israel.*)

Gambar 8.22c Orientasi sebuah pengumpul serta derajat penyimpangan yang masih diperbolehkan dari arah selatan.

Gambar 8.22d Kemiringan sebuah pengumpul:
(1) kemiringan sebuah pengumpul untuk air panas;
(2) kemiringan sebuah pengumpul untuk pemanasan ruang dan kombinasi pemanasan ruang serta air panas untuk keperluan rumah tangga;
(3) kemiringan sebuah pengumpul untuk kolam renang.

Orientasi Alat Pengumpul

Biasanya yang terbaik adalah meletakkan pengumpulan dengan orientasi menghadap ke selatan. Variasi hingga 20° ke barat dan 20° ke timur, masih bisa diterima (Gbr. 8.22c). Untuk kondisi yang khusus, seperti halnya panas yang dibutuhkan di pagi hari atau kelaziman dari kabut pagi, sebuah pergerakan 20 hingga 30 derajat ke barat atau timur bisa menjadi suatu keuntungan.

Kemiringan Alat Pengumpul

Kemiringan pengumpul yang terbaik berhubungan dengan garis lintang serta tujuan dari pengumpul sinar matahari itu sendiri. Gambar.8.22d menggambarkan sudut kemiringan untuk berbagai macam aplikasi pemanasan sebagi fungsi dari garis lintang. Pengumpul akan sangat efisien saat mereka berada tegak lurus terhadap sinar matahari. Walaupun demikian, dengan pergerakan harian serta musiman matahari, hal itu hanya akan terjadi hanya dengan menggunakan pelacak

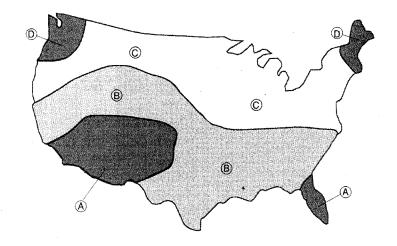
pengumpul, yang sayangnya terlalu rumit untuk sebagian keadaan. Sudut kemiringan yang diberikan pada Gambar. 8.22d adalah yang kelandaian terbaik bagi pengumpul tetap.

Ukuran Alat Pengumpul

Ukuran alat pengumpul tergantung pada beberapa faktor: tipe pemanasan (air kolam, air kebutuhan rumah tangga, atau pemanasan ruang), jumlah panas yang dibutuhkan, iklim, dan efisiensi sistem pengumpul. Tabel 8.22A mendaftarkan perkiraan luas pengumpul dan tangki penyimpan air panas untuk kebutuhan rumah tangga, sedangkan Tabel 8.22B daftar perkiraan ukuran bagi pengumpul serta tangki penyimpan untuk sebuah kombinasi pemanasan ruang dengan sistem air panas kebutuhan rumah tangga. Untuk mencari ukuran bagi sistem pemanas kolam renang, lihat Subbab 8.19. Untuk semua kasus ini, luas pengumpul sebaiknya ditambah untuk memberi kompensasi terhadap sudut kemiringan atau orientasi yang mungkin kurang tepat, atau terjadinya naungan pada pengumpul.

TABEL 8.22A *Perkiraan Ukuran Sistem Air Panas untuk Kebutuhan Rumah Tangga dengan Penyinaran Matahari*

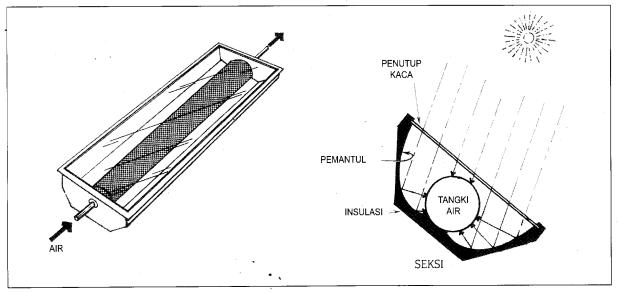
Jumlah Orang Per Rumah	*Perkiraan Ukuran Pengumpul (Collector) (Ft²)** dalam Bagian*				*Perkiraan Galon*	*Ukuran Tangki Ft³*
	A	B	C	D		
1-2	30	40	60	80	60	8
3	40	53	80	107	80	11
4	50	67	100	133	100	13
5	60	80	120	160	120	16
6	70	93	140	187	140	19

*Berdasarkan cara singkat dan peta dari AAA Solar Service and Supply, Inc., Albuquerque, NM.
**Area pengumpul *(collector)* berhubungan dengan *efisiensi*. Pengumpul yang memiliki *efisiensi* tinggi, seperti tipe tabung-vakum, akan memerlukan sebuah area yang mirip namun akan lebih mahal, dan kebalikannya.

TABEL 8.22B *Perkiraan Ukuran Sebuah Kombinasi Pemanasan Ruang dan Sistem Air Panas untuk Kebutuhan Rumah Tangga pada sebuah Rumah dengan Ukuran 1,500 Ft²*

Iklim Daerah	Kota Acuan	Perkiraan Area Pengumpul (*collector*) (ft²)	Perkiraan Ukuran Penyimpanan: Air (ft²)	Kotak Batu* (ft²)
1	Hartford, CT	800	200	600
2	Madison, WI	750	200	600
3	Indianapolis, IN	800	200	600
4	Salt Lake City, UT	750	200	600
5	Ely, NE	750	200	600
6	Medford, OR	500	100	300
7	Fresno, CA	300	70	210
8	Charleston, SC	500	100	300
9	Little Rock, AK	500	100	300
10	Knoxville, TN	500	100	210
11	Phoenix, AZ	300	70	120
12	Midland, TX	200	40	120
13	Fort Worth, TX	200	40	120
14	New Orleans, LA	200	40	120
15	Houston, TX	200	40	120
16	Miami, FL	50	10	30
17	Los Angeles, CA	50	0	30

Ukuran merupakan perkiraan dan bervariasi sesuai iklim aktual serta efisiensi setiap perangkat
*Kotak batu digunakan dengan sistem udara panas

8.23 SISTEM PENYINARAN MATAHARI AKTIF/PASIF

Di akhir Bab 7 telah dinyatakan bahwa meskipun sistem *convective-loop* (*thermosiphon*) (Gbr.7.18a) merupakan sebuah sistem pasif karena tidak menggunakan pompa, ia lebih memiliki hubungan yang dekat dengan sistem aktif. Sistem penyinaran matahari yang pertama di awal abad menggunakan teknik konveksi alami ini

Gambar 8.23a Dalam sebuah pemanas air panas "*batch-type*" (tipe pengelompokan), pengumpul dan penyimpan merupakan satu kesatuan dan sama.

(Gbr. 8.18d). Karena kesederhanaan dan biaya yang murah, dua sistem thermosiphon yang berbeda telah menjadi populer untuk kebutuhan air panas rumah tangga. Pada sebuah sistem yang dinamakan ***batch heater*** **(pemanas yang mengelompok)** tangki penyimpanan juga merupakan sebuah pengumpul (Gbr. 8.23a). Sistem thermosiphon yang lainnya yang juga populer dinamakan **sistem penyimpan pengumpul integral (*integral collector storage/ICS*)** karena tangki penyimpanan serta pengumpul dikombinasikan menjadi satu unit (Gbr. 8.23b). Karena sistem ini tidak memiliki bagian yang bergerak serta sebuah sistem pemipaan yang minimal, mereka juga hemat biaya dan populer. Mereka sangat cocok di iklim yang nyaman hingga sedang karena penyimpan, meskipun terinsulasi, terletak di ruang luar. Agar thermosiphon dapat bekerja, tangki penyimpan harus di atas pengumpul. Kekurangan mereka yang paling utama adalah aspek estetika karena tidak mudah digabung atap, sedangkan pengumpul yang datar dapat menyerupai skylight.

Gambar 8.23b Di dalam sebuah penyimpan pengumpul integral (*integral collector storage/ ICS*), tangki pengumpul dan penyimpan telah tersedia dalam satu paket.

8.24 VENTILASI UDARA DENGAN PEMANASAN AWAL

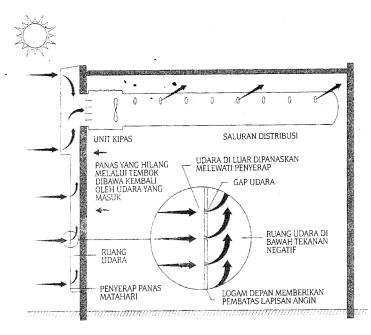
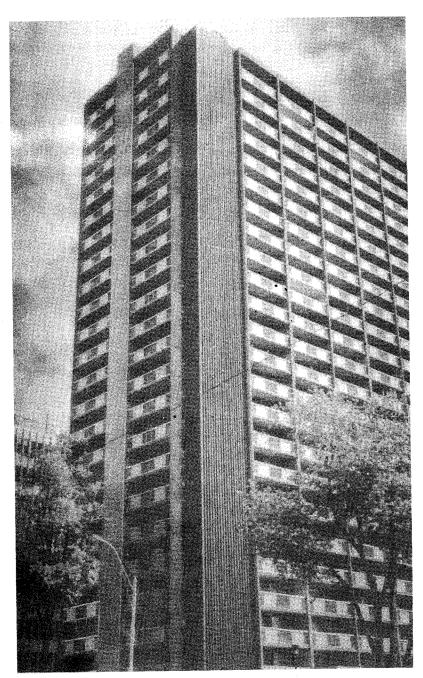
Seperti yang telah dibahas, pemanasan kolam renang dengan penyinaran matahari aktif akan menghemat biaya karena pengumpul yang sederhana dan murah ini tidak menggunakan penutup kaca, namun tetap cukup untuk mengumpulkan panas dengan suhu yang rendah. Dengan cara sama, sederhana, pengumpul sinar matahari murah akan cukup untuk memberi pemanasan awal pada udara ventilasi karena kenaikan sedikit di atas suhu udara ruang luar musim dingin pun akan menjadi sebuah keuntungan.

Ventilasi sederhana dapat dibuat dengan cladding logam gelap yang berjarak beberapa inci dari dinding yang menghadap ke selatan. Sebuah kipas ventilasi memindahkan udara ruang luar yang dingin sepanjang bagian belakang dari cladding logam sebelum udara masuk ke dalam bangunan. Sayangnya, strategi ini tidak menangkap udara hangat yang membentuk di bagian depan daripada pengumpul yang gelap. Walaupun demikian, lewat penggunaan lapisan cladding yang berlubang, panas akan terkumpul dari bagian depan dan belakang pengumpul, dan mendapatkan efisiensi setinggi 75 persen (Gbr. 8.24a). Tipe pengumpul ini juga dapat menghemat energi pada malam hari karena panas yang hilang lewat dinding bagian selatan telah dikembalikan lewat ventilasi udara yang masuk kembali. Pada musim panas, sistem ventilasi melintasi pengumpul sinar matahari, sedangkan udara yang sedang dipanaskan di dalam pengumpul meningkat melalui stack effect tumpukan dan muncul lewat bagian atas yang berlubang. Dengan demikian, pada musim panas akan timbul sebuah kenaikan panas yang berasal dari pengumpul sinar matahari.

Karena alat pengumpul merupakan bagian dari fasade bangunan, penampilan pengumpul merupakan hal yang sangat penting. Untungnya, warna gelap apa pun akan berfungsi sebaik warna hitam. Di hari yang cerah, udara dapat dipanaskan mulai dari 30°F hingga 50°F (17°C hingga 30°C) di atas suhu ambient lingkungan. Meskipun di hari yang mendung, sistem akan tetap menghasilkan sejumlah penghematan.

Semua bangunan perlu memasukkan udara luar ke dalam bangunan, demi alasan kesehatan. Oleh karena itu, kita sebagai penghuni sering menggunakan bahan-bahan beracun dan/atau bahan yang menghasilkan racun, telah membuat **kualitas udara ruang dalam** (***indoor air quality*/*IAQ***) menjadi satu permasalahan penting. Bangunan kecil seperti rumah, secara tradisional bergantung pada infiltrasi untuk menyediakan udara segar, sedangkan bangunan besar bergantung pada rancangan sistem ventilasi. Karena bangunan hemat energi memiliki selubung penutup ketat, sekarang semua bangunan memerlukan sistem ventilasi yang di rancang dengan hati-hati, dan pemanasan awal udara pada musim dingin akan menghemat energi yang cukup banyak. Gambar. 8.24b memperlihatkan sebuah bangunan apartemen bertingkat tinggi menggunakan ventilasi pemanasan awal yang menggunakan penyinaran matahari aktif terbuat dari panel cladding yang berlubang. Pemanasan awal pada ventilasi udara juga cocok ditambahkan pada bangunan yang sudah terbangun. Ini sangat berguna terutama pada bangunan yang memiliki fasade bagian selatan yang dengan kondisi alam sekitar yang buruk, yang mungkin juga memerlukan cladding baru.

8.25 MASA DEPAN PENYINARAN MATAHARI AKTIF

Tiada alasan mengapa kolam renang ruang luar tidak menggunakan penyinaran matahari aktif 100 persen untuk memanaskan

Gambar 8.24a Penghematan yang lebih besar akan dapat tercapai saat pengumpul logam berlubang-lubang. (*Conserval Systes Inc.*, pembuat Sistem *Solarwall™*)

Gambar 8.24b Bangunan apartemen di Windsor, Ontario, menggunakan pengumpul sinar matahari tertinggi sedunia untuk pemanasan awal ventilasi udara. (*Conserval System Inc.*, pembuat Sistem *Solarwall*™)

airnya, karena biaya dengan penyinaran matahari aktif telah menjadi kompetitif dengan energi bahan bakar. Sayangnya pilihan seperti ini tidaklah sejelas untuk air panas kebutuhan rumah tangga, yang hasil keuntungannya baru tampak setelah waktu yang cukup lama dengan kata lain keuntungan jangka panjang. Untuk situasi komersil/institusi, di mana dibutuhkan jumlah air panas yang banyak, perhitungan ekonomis menjadi sangat menarik. Pemanasan ruang dengan penyinaran matahari aktif sebaiknya digunakan di mana akses sinar matahari kepada dinding adalah terbatas hingga membuat penyinaran matahari pasif menjadi hal yang tidak praktis. Pada iklim dingin, sangatlah cocok untuk melakukan pemanasan awal dari ventilasi udara.

Meskipun untung balik dari penyinaran matahari aktif lama, jika digunakan yang cocok dan agak ekonomis, hasil produksi massal akan merendahkan biayanya hingga membuat penyinaran matahari aktif praktis untuk hampir semua orang. Dengan demikian, penyinaran matahari aktif memiliki potensi sangat besar tidak hanya untuk mengurangi ketergantungan kita terhadap energi nuklir maupun bahan bakar, tetapi juga dalam usaha kita membantu lingkungan hidup serta mengurangi proses efek rumah kaca.

8.26 KESIMPULAN

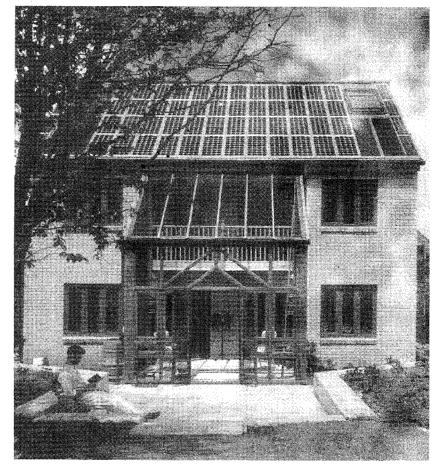
Daripada mengimpor energi, bangunan dapat menjadi pengekspor energi. Lalu, bukannya menjadi beban lingkungan hidup, para bangunan bisa menjadi sejumlah aset dari sebuah lingkungan yang sehat. Peran baru bagi bangunan ini dapat terjadi sekarang, setidaknya yang berhubungan dengan energi, secara mudah dengan mempraktikkan teknik yang telah dibahas di dalam buku ini serta digarisbesarkan di bawah ini.

Pertama, gunakan efisien untuk mengurangi kebutuhan akan energi. *Kedua,* gunakan teknik pasif untuk lebih mengurangi

beban energi. *Terakhir,* gunakan penyinaran matahari aktif untuk menyediakan sebagian besar kebutuhan rumah tangga akan panas tingkat rendah untuk pemenasan ruang atau pemanasan air, gunakan PV untuk membangkitkan energi tingkat tinggi untuk menjalankan semua cahaya dan perangkat.

Karena persamaan untuk penampilan dan keperluan akses matahari, penyinaran matahari aktif dan PV dapat digabung berdampingan dalam bangunan. Pada bangunan residensial, seluruh bagian atap yang menghadap selatan dapat dimanfaatkan untuk kombinasi penyinaran matahari aktif dengan panel PV (Gbr. 8.3a dan 8.26a). Pada bangunan komersil, institusi, dan industri, dinding bagian selatan sebaiknya juga digunakan.

Sangatlah penting untuk semua bangunan baru apakah menggunakan teknologi ini atau setidaknya memberi kesempatan menggunakannya di masa depan. Dengan demikian, bangunan harus menghadap ke selatan dan memiliki atap yang menghadap selatan juga, tentunya dengan sudut kemiringan yang tepat. Jalanan sebaiknya juga harus terancang untuk mengakomodasikan orientasi bangunan (Lihat Bab 11). Jika langkah ini tidaklah kita jalankan, banyak bangunan di masa depan akan memiliki pengumpul sinar matahari dengan sudut kemiringan yang cukup aneh pada arsitektur kita (Gbr. 8.26b). Sedangkan bila kita menjalankan langkah ini, penggunaan penyinaran matahari pasif, penyinaran matahari aktif, serta PV akan membangkitkan nilai serta elemen estetika baru. Selain itu kita akan mendapatkan kesempatan-kesempatan untuk menghasilkan bentuk baru yang cocok dan lebih tepat bagi keberlanjutannya dunia.

Gambar 8.26a Atap yang menghadap ke selatan dapat terdiri dari penggabungan penyinaran matahari pasif, penyinaran matahari aktif, serta panel PV, seperti yang dapat terlihat pada bangunan *Oxford Solar House*, Oxford, United Kingdom. Skylight menyediakan pencahayaan alami serta penambahan panas secara langsung; penyinaran matahari aktif menyediakan air panas untuk keperluan rumah tangga; PV menyediakan, listrik. (Foto dari *Caddet Technical Brochure* #84.)

Gambar 8.26b Saat penyinaran matahari aktif tidak dipertimbangkan pada rancangan asli, instalasi tambahan dapat mengubah dan menghasilkan bentuk baru ini aneh.

IDE POKOK BAB 8

1. Photovoltaic (PV) yang membangkitkan listrik merupakan sumber energi yang hampir ideal. PV mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik.
2. Sebagian besar listrik di abad ke-21 nanti, kemungkinan besar akan berasal dari PV.
3. PV sebaiknya tergabung dengan bangunan (contoh: modul PV seharusnya menggantikan kulit bangunan yang telah rusak/lapuk akibat pengaruh air, udara, dan panas).
4. PV adalah cocok tidak hanya pada Sunbelte tapi untuk setiap iklim.
5. Sistem PV mandiri merupakan sistem yang terbaik untuk memberi jarak dengan dari jaringan tenaga, di mana menggantikan kebutuhan sejumlah baterai ataupun tenaga cadangan.
6. Sistem jaringan gabungan PV akan paling cocok untuk bangunan yang terletak pada atau dekat jaringan tenaga. Sistem seperti ini memerlukan sejumlah baterai atau tenaga cadangan.
7. Tenaga angin sering kali merupakan sebuah pelengkap yang baik terhadap tenaga PV.
8. Sebuah orientasi ke selatan dengan kemiringan yang sama terhadap garis lintang akan memaksimalkan pengeluaran PV.
9. Agar permintaan sama dengan persediaan, orientasi dan kemiringan yang terbaik dapat 15 hingga 30 derajat menyimpang daripada pengeluaran maksimal.
10. PV berpotensi menjadi sangat tidak mahal karena sedikit bahan yang digunakan dan perakitannya cukup sederhana.
11. Dengan biaya PV menurun karena penelitian serta produksi massal, kemiringan serta orientasi yang terbaik akan menjadi lebih kurang penting. Suatu hari, semua atap yang menghadap ke selatan, dinding bagian selatan, dinding bagian barat dan timur akan

menggunakan clad yang terlapis dengan PV.

12. Module PV yang transparan dapat digunakan sebagai pelapis kaca.
13. Perangkat hemat energi pencahayaan serta sistem pasif, seharusnya digunakan bersama dengan PV.
14. Gunakan PV untuk membangkitkan listrik tingkat tinggi yang penting, dan menggunakan penyinaran matahari aktif untuk membangkitkan energi termal tingkat rendah yang diperlukan dalam bangunan.
15. Pemanasan kolam renang dengan penyinaran matahari merupakan cara yang terbaik dan paling efektif untuk memperpanjang musim berenang di kolam renang ruang luar.
16. Di utara luas dari sebagian besar pengumpul sinar matahari untuk kolam renang kurang lebih sama dengan luas kolam renang dan di selatan setengah dari luas kolam renang yang.
17. Di tempat mana pun yang memungkinkan, penyinaran matahari aktif seharusnya digunakan untuk memanaskan air untuk keperluan rumah tangga.
18. Pemanasan ruang dengan penyinaran matahari aktif sebaiknya dipertimbangkan untuk dipakai jika penyinaran matahari pasif tidak mungkin dilaksanakan.
19. Gunakan pemanas lantai dengan yang memanfaatkan sinar matahari, atau sebuah pompa panas bersama sistem pemanasan ruang dengan penyinaran matahari aktif.
20. Setiap atap yang menghadap selatan seharusnya tertutup dengan campuran dari penyinaran matahari aktif dan PV agar dapat melindungi lingkungan, mengendalikan proses efek rumah kaca, serta memimpin masyarakat ke sebuah ekonomi berkelanjutan.
21. Arsitektur "hijau" dan arsitektur "matahari" akan menghasilkan sebuah nilai dan hasil estetika baru serta serasi dengan dunia ini.

Footnotes

[1]*Cladding*: lapisan besi yang diikat pada besi lainnya dengan tekanan dan suhu tinggi; pelindung atau lapisan insulasi yang dipasang pada bagian luar bangunan

[2]*Fasade*: kata lain untuk tampak depan dari sebuah bangunan

[3]*Mullion*: kerangka vertikal di antara kaca jendela; rangka yang bersinar pada jendela yang bulat.

[4]*Efficiency*: perbandingan antara energi yang dikeluarkan oleh mesin dengan energi yang diterima.

REFERENSI

1. *Environmental* Building *News,* July/August, 1999, p. 13
2. Maycock, P. "1997 World Cell/ Module Shipments," *PV News,* February, 1998.
3. *Tapping into the* Sun: *Today's Applications of Photovoltaic Technology,* U.S. Department *of* Energy, Rev. April, 1995.

SUMBER

BACAAN-BACAAN AGAR DAPAT LEBIH MEMPERDALAM

(Lihat Daftar Pustaka untuk daftar referensi yang lengkap. Daftar ini termasuk buku-buku yang bernilai tinggi dan tidak lagi dicetak ulang)

UMUM

Boonstra, C. *Solar Energy in Building* Renovation.

Hestnes, A. G., R. Hastings, and B. Saxhof. *Solar Energy Houses.*

Kachadorian, J. *The Passive Solar House.*

Miller, B. Buildings *for a Sustainable America* Case Studies.

Potts, M. *The New Independent Home.*

Rostvik, H. *The Sunshine Revolution.*

Singh, M. *The Timeless Energy of the Sun for Life and Peace* with *Nature.*

Stein, B., and J. Reynolds. *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*

PHOTOVOLTAICS

Cathcart, K., Anders Architects. "Building Integrated Photovoltaics."

Davidson, J. *The New Solar Electric Home.*

Humm, O., and P. Toggweiler. *Photovoltaics in Architecture: The Integration of Photovoltaic Cells in Building Envelopes.*

Komp, R. *Practical Photovoltaics-Electricity from Solar Cells.*

Perlin, K. *From Space to Earth: The Story of Solar Electricity.*

Sick, F. *Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers.*

Strong, S. J. *The Solar Electric House.*

Zweibel, K. *Harnessing Solar Power: The Photovoltaics Challenge.*

PENYINARAN MATAHARI AKTIF

Butti, K., and J. Perlin. A *Golden Thread.*

Hestnes, A. G., R. Hastings, and B. Saxhof. *Solar Energy Houses.*

MAJALAH YANG TERBIT BERKALA

Solar Today.

ORGANISASI

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap, serta informasi pemesanan)

American Hydrogen Association Internet: (E-mail) aha @ getnet.com; www.clean-air.org

American Solar Energy Society www.csn.net.solar/factbase.htm National group for renewable-energy education.

Caddet Center for Renewable Energy www.caddet.co.uk

Menyediakan ringkasan proyek-proyek energi yang dapat diperbaharui di seluruh dunia.

Department of Energy's (DOE) Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse (EREC) www.eren.doe.gov/erec/factsheets EREC Menyediakan informasi bagi khalayak umum, yang umum dan teknis serta gratis mengenai sejumlah topik dan teknologi yang bersangkutan dengan penghematan energi serta energi yang dapat diperbaharui, termasuk sistem PV, energi sinar matahari, sertta data radiasi sinar matahari.

Florida Solar Energy Center (FSEC) www.fsec.ucf.edu/

Interstate Renewable Energy Council (IREC)

International Solar Energy Association (ISES) www.ises.org

National Renewable Energy Laboratory (NREL) http://www.nrel.gov Good source for detailed information on renewables.

Sandia National Laboratories www.sandia.gov

Solar Energy Industries Association (SEIA) http://www.seia.org SEIA *is the national trade organization of PV and thermal manufacturers and component suppliers.*

Utility Photo Voltaic Group (UPVG) www.ttcorp.com/upvg

VIDEO

(Lihat Lampiran J untuk referensi lebih lengkap)

"Living on the Sun". 30 menit

BAB 9

PENEDUH

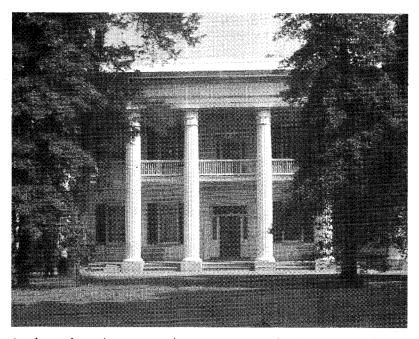
"Perangkat pengontrol sinar matahari seharusnya berada di luar bangunan, merupakan elemen fasade, sebuah elemen arsitektur. Dan karena perangkat ini sedemikian pentingnya sebagai bagian dari elemen arsitektur terbuka kita, itu mungkin akan berkembang menjadi karakteristik bentuk seperti kolom Doric."

Marcel Breuer
From Sun and Shadow, Dodd Mead & Co., 1955

9.1 SEJARAH PENEDUH

Keuntungan dari pemakaian peneduh sangat banyak dan kita dapat melihat jelas penerapannya sepanjang sejarah dan berbagai budaya. Kita dapat melihat efeknya pada arsitektur klasik juga pada bangunan vernakular ("arsitektur tanpa arsitek").

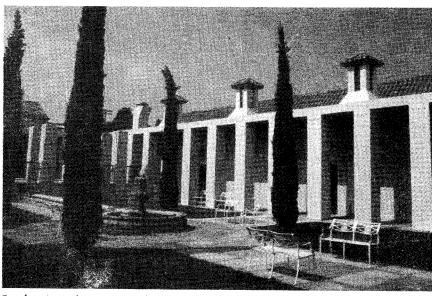
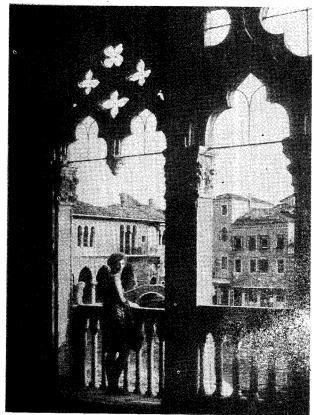
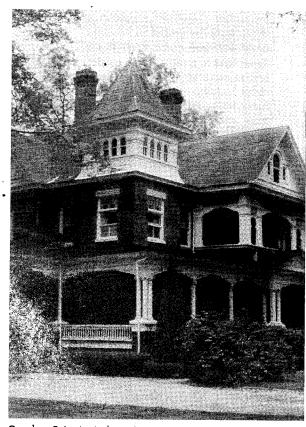
Banyak di antara elemen peneduh besar memiliki kegunaan ganda, baik sebagai peneduh bangunan maupun sebagai tempat kegiatan di ruang terbuka. *Portico*[1] dan *colonade*[2] dari bangunan Yunani dan Romawi kuno dapat dipastikan memilikinya sebagai bagian dari fungsinya (lihat Gbr. 9.1a). Pembaruan arsitektur Yunani sangat sukses di selatan Amerika karena menawarkan keteduhan yang sangat dibutuhkan di sana, juga keuntungan/kebutuhan yang timbul dari makna simbolik dan estetika. Di daerah panas dan lembap, jendela-jendela besar dibutuhkan untuk memaksimalkan fungsi ventilasi alamiah, tetapi pada saat yang bersamaan, sinar matahari yang masuk melalui jendela-jendela besar ini mengakibatkan ketidaknyamanan. Overhang besar yang disangga oleh pilar dapat menyelesaikan masalah ini (lihat Gbr.9.1b). Warna putih dari Pembaruan Arsitektur Yunani juga sangat tepat untuk iklim panas.

Gambar 9.1a Arsitektur Yunani Kuno menggunakan collonades dan portico penuh untuk proteksi elemennya. Gedung: *Stoa of Attalos II Athens.*

Gambar 9.1b Pembaruan Arsitektur Yunani merupakan hal yang populer di bagian selatan Amerika Serikat, dengan kontribusinya yang besar terhadap kenyamanan termal. Gedung: *The Hermitage*, rumah Andrew Jackson dekat Nashville, TN.

Di setiap arsitektur yang baik, elemen bangunan biasanya juga berfungsi ganda. Fakta bahwa portico Yunani juga melindungi bangunan dari hujan tidaklah meniadakan fungsi pentingnya sebagai pengontrol sinar matahari. Hal ini membuat konsep portico menjadi lebih berharga pada daerah panas dan lembap di mana hujan sering terjadi dan sinar matahari menyorot tak kenal ampun.

Pada saat pembaruan arsitektur tidak terlalu dibutuhkan, meminjam dari masa lampau bisa sangat berguna jika memiliki fungsi dan estetika yang mengun-

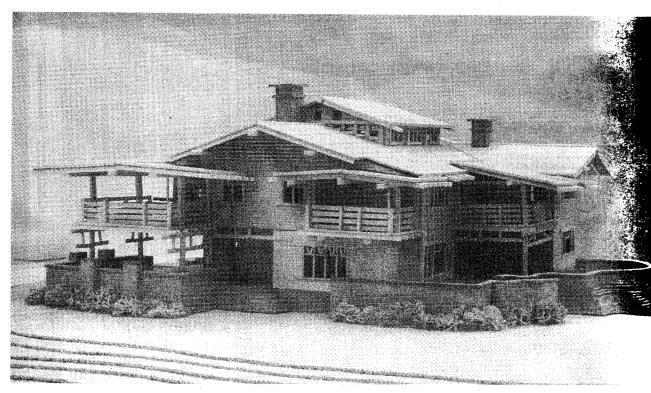
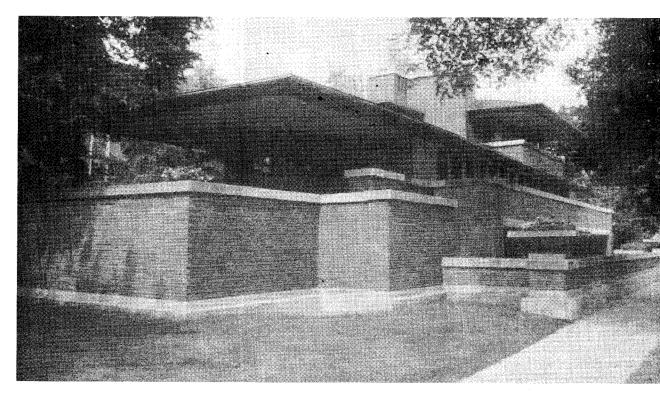
tungkan (Gbr.9.1c). Sangat banyak contoh bersejarah yang bisa diambil. Bentuk desain tradisional dari berbagai belahan dunia, walaupun tampil berbeda, sering dikembangkan berdasarkan kebutuhan yang sama. Portico Yunani, yang telah disebutkan di atas, sangat berkaitan erat dengan teras, veranda (dari India), balkon, loggia, galeri, *arcade*[3], colonnade, dan *engawa* (dari Jepang) (Lihat Gbr.9.1a-h).

Arsitektur Jepang dan Cina didominasi oleh penggunaan overhang lebar (Gbr.9.1f). Jepang banyak menggunakan elemen mirip veranda yang disebut *engawa*. Overhang lebar ini melindungi

Gambar 9.1c Aliran Postmodern, dengan sindirannya terhadap gaya arsitektur klasik, dapat menghasilkan ide-ide kenyamanan termal yang berumur panjang, seperti yang terlihat pada bangunan perpustakaan umum untuk San Juan Capistrano yang dirancang oleh Michael Graves.

Gambar 9.1d Loggias yang didukung oleh beberapa arcade dan collonade melindungi jendela-jendela besar yang dibutuhkan untuk ventilasi alami pada iklim yang panas dan lembap di Venice. Terkadang sebuah lantai tambahan di atas lantai teratas dibuat dengan dinding terbuka agar panas di bawah atap dapat dikeluarkan melalui ventilasi.

Gambar 9.1e Arsitektur Gaya Victorian menggunakan banyak teras, veranda, dan balkon untuk menaungi bangunan serta menciptakan ruang-ruang luar. Eufaula, AL.

panel dinding geser yang dapat dibuka untuk memaksimalkan akses ventilasi, cahaya, dan pandangan. Ketika panel ditutup, cahaya masuk melalui jendela sempit transparan yang menerus di atas. Juga perlu dicatat bagaimana curah hujan diarahkan ke penampungan di bawah dengan bantuan rantai gantung (Gbr. 9.1g). Pada tahun awal abad kedua puluh, Green bersaudara mengembangkan gaya yang cocok untuk California yang menggunakan konsep dari arsitektur Jepang (Gbr.9.1h).

Gambar 9.1f Sebagian besar arsitektur Asia telah didominasi oleh overhang yang besar. Bangunan: Golden Pavilion, Kyoto, Japan. (Dari Japan National Tourist Organization.)

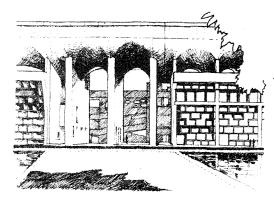
Banyak arsitek besar mengerti betapa pentingnya peneduh dan menggunakannya untuk menciptakan pernyataan visual yang kuat. Frank Lloyd Wright menggunakan strategi peneduh pada sebagian besar bangunan rancangannya. Pada awal kariernya, dia menggunakan overhang lebar baik untuk menciptakan kenyamanan suhu maupun untuk membuat pernyataan estetika mengenai bangunan di padang rumput. Pada Rumah Robie (Gbr.9.1i), Wright menggunakan permukaan luas berkilat yang digunakan untuk memaksimalkan pengudaraan alami selama musim panas yang panas dan lembap di Chicago. Namun, dia mengerti bahwa hal ini akan lebih berefek buruk daripada berefek baik, kecuali jika dia melindungi permukaan berkilat tersebut dari sinar matahari. Overhang yang sangat panjang tidak hanya memberikan keteduhan yang diperlukan, tetapi juga menciptakan garis-garis horizontal kuat yang merefleksikan kealamian dari daerah sekitarnya. Lihat Gambar. 10.8b untuk denah Rumah Robie.

Gambar 9.1g Dinding panel geser dapat dibuka dengan akses yang maksimum untuk ventilasi cahaya serta pemandangan. Engawa atau teras ini dapat terlihat dengan jelas pada bangunan ini di Japanese Garden of Portland.

Gambar 9.1h: Gamble House di Pasadena, CA, 1908, oleh Green and Green memperlihatkan pengaruh arsitektur Jepang. Mencatat secara khusus overhang atap yang besar. (Model oleh Gary Kamemoto dan Robert Takei, University of Southern California.)

Gambar 9.1i Overhang yang besar mendominasi rancangan bangunan Robie House, Chicago, 1909, oleh Frank Llyod Wright.

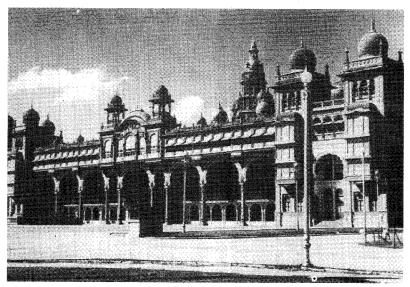
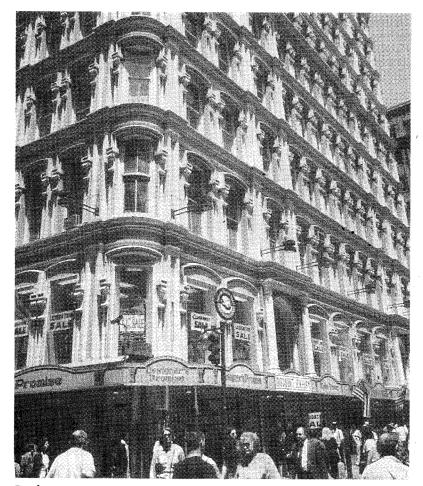
Gambar 9.1j Peneduh matahari yang dikenal sebagai *brise-soleil* mengubah rancangan pada Cité de Refuge, Paris, yang dirancang Le Corbusier tahun 1932 tanpa peneduh matahari. (Foto oleh Alan Cook)

Gambar 9.1k Brise-soleil dan atap parasol menaungi bangunan High Court di Chandigarh. Penguapan dari pantulan kolam membantu mendinginkan udara.

Dari semua arsitek, Le Corbusier sangat terkait dengan estetika yang tercipta dari elemen peneduh matahari. Merupakan hal yang sangat menarik mengingat bagaimana ini bisa terjadi. Pada tahun 1932, Le Corbusier merancang gedung bertingkat banyak di Paris yang dikenal sebagai Cité de Refuge. Fasade bagian selatan gedung itu dirancang dengan menggunakan kaca secara menyeluruh sehingga sinar matahari dapat secara maksimal menghangatkan dan membuat penghuninya ceria. Pada bulan Desember rancangan ini bekerja dengan sangat memuaskan, namun pada bulan Juni bangunan menjadi panas tak tertahankan. Sebagai kesimpulan dari kesalahan ini, Le Corbusier menciptakan peneduh permanen struktural yang sekarang dikenal sebagai brise-soleil (penahan panas matahari). Pada Gambar 9.1j, kita dapat melihat bangunan itu setelah dipasangi brise-soleil.

Le Corbusier menyadari fungsi ganda dari matahari – sebagai teman kita pada musim dingin dan sebagai musuh pada musim panas. Hal ini dapat terlihat jelas pada hasil karya seninya (lihat Gbr.6.1). Setelah sadar, elemen peneduh menjadi bagian utama dari karya arsitekturnya. Baginya, kepentingan estetika sama pentingnya dengan perlindungan terhadap matahari. Maka, banyak bangunannya menggunakan peneduh sebagai elemen visual yang kuat. Beberapa contoh terbaiknya datang dari kota di India bernama Chandigarh, di mana Le Corbusier merancang banyak gedung pemerintah. Brise-soleil dan parasol menciptakan pernyataan visual yang sangat kuat di gedung High Court (Gbr.9.1k). Istana Maharaja di Mysore memiliki kemiripan dengan gedung High Court, dan ini, menimbulkan spekulasi tentang bagaimana Le Corbusier sangat dipengaruhi oleh Arsitektur India (untuk contoh lain mengenai atap parasol lihat Gambar 1.3h dan untuk contoh lain brise-soleil lihat Gambar 10.6y dan z).

Bangunan-bangunan tradisional sering menyediakan peneduh walaupun bukan merupakan tujuan utamanya. Karena biasanya jendela-jendela ditempatkan di bagian dalam dinding penyangga atau bahkan pada dinding pengisi tebal yang terbuat dari batu bata, efeknya adalah brise-soleil yang tipis. (Gbr. 9.1u)

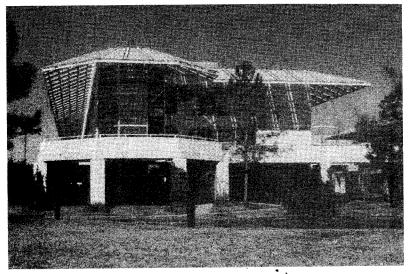
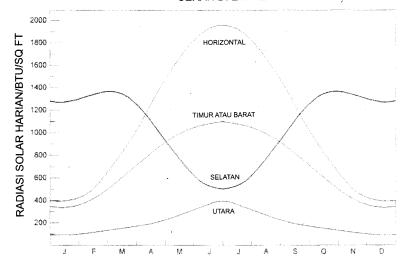
9.2 PENEDUH

Peneduh merupakan strategi kunci dalam mencapai kenyamanan suhu saat musim panas. Peneduh, sebagai bagian dari penolak panas merupakan lapisan pertama dari rancangan tiga lapisan

Gambar 9.1l Maharaja Palace di Mysore menggambarkan sistem peneduh yang cukup banyak dan sering digunakan pada arsitektur India. (Dari Government of India Tourist Office.)

Gambar 9.1m Keuntungan yang sering terlewatkan pandangan orang dari arsitektur tradisional adalah dinding konstruksi bata yang tebal menghasilkan peneduhan dari elemen vertikal dan horizontal. (Gedung perkantoran tua di daerah bawah Manhattan.)

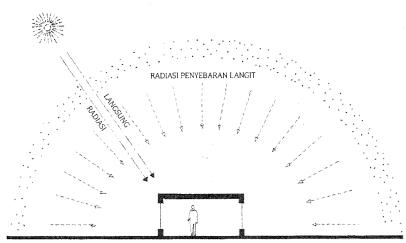
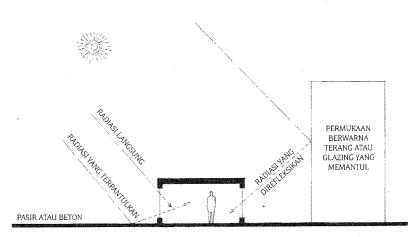
untuk mendinginkan bangunan (Gbr.9.2a). Lapisan kedua terdiri dari pendingin pasif dan lapisan ketiga menggunakan perangkat mekanis untuk mendinginkan jika strategi arsitektur pada lapisan pertama dan kedua tidak dapat tercapai.

Walaupun pemakaian peneduh pada keseluruhan bangunan sangat menguntungkan, pemakaian peneduh pada jendela-jendela sangatlah penting. Akibatnya, sebagian besar pembicaraan berikut akan mengacu pada pemakaian peneduh pada jendela.

Jendela dari arah manakah yang paling membutuhkan peneduh pada musim panas? Bagan pada Gambar 9.2c menunjukkan bahwa pada tanggal 21 Juni, *skylight*[4] (lapisan kaca horizontal) mengumpulkan sekitar empat kali radiasi sinar matahari lebih banyak dibanding jendela di bagian selatan. Jelaslah bahwa *skylight* membutuhkan peneduh yang sangat efektif atau lebih baik lagi jika dihindarkan. Gambar 9.2c juga menunjukkan bahwa *glazing* bagian timur atau barat mengumpulkan hampir tiga kali radiasi sinar matahari dari jendela di bagian selatan.

Gambar 9.2a Tiga tingkat/strata pendekatan perancangan merupakan metode yang paling logis dan tahan lama untuk mendapat kenyamanan termal pada musim panas.

Gambar 9.2b Pada bangunan Conoco Inc. Headquarters Complex di Houston, Kevin Roche terinspirasi oleh gaya lokal bangunan perkebunan daerah Texas, dengan overhang yang besar serta teras yang ditopang oleh pilar-pilar. Overhang bening mirip awning memiliki kedalaman 13 kaki karena mereka menaungi dua lantai, dan menghadap semua arah kompas, melindungi veranda, serta menghalangi langit dan kuatnya penyebaran radiasi pada iklim lembap ini. Terali yang diselimuti oleh tanaman bunga melati dan tanaman rambat yang berbuah melindungi lantai pertama serta *courtyard* di mana veranda lantai dua berhenti. Pada iklim yang sangat panas dan basah ini, pada area parkir, juga dilindungi dengan bahan kaca fiber (Fiberglass) yang bahkan mirip awning sebagai peneduh (tidak terlihat).

Gambar 9.2c Semua orientasi terkecuali ke selatan mendapatkan radiasi matahari yang maksimum pada musim panas. Sebuah *skylight* mendapatkan sekitar empat kali lebih banyak pemanasan sinar matahari dibanding jendela yang menghadap selatan pada Juni 21. (Dari buku *Workbook for Workshop on Advanced Passive Solar Design* oleh J. Douglas Balcomb dan Robert Jones, © J. Douglas Balcomb, 1987.)

Jika bagan Gambar 9.2c terlihat familiar, hal ini tidak mengherankan karena variasinya muncul sebelumnya pada Bab Penyinaran Matahari Pasif, seperti Gambar 7.16a yang menunjukkan seberapa lebih banyak radiasi matahari yang dikumpulkan oleh jendela di bagian selatan dibanding jendela di bagian lainnya pada saat musim dingin. Maka, jendela di bagian selatan sangat dibutuhkan baik dari sudut pandang sebagai peneduh maupun pemanasan solar pasif. Penggunaan skylight seharusnya dihindari karena mengumpulkan sangat banyak radiasi sinar matahari pada musim panas dan sangat sedikit pada musim dingin. Mirip dengan hal ini, jendela di bagian timur dan barat tidak diinginkan baik dari sudut pandang pemanasan maupun dari pendinginan.

Muatan total sinar matahari (solar) terdiri dari tiga komponen: radiasi langsung, menyebar, dan memantul. Untuk melindungi pemanasan matahari pasif ketika tidak diinginkan, seseorang harus selalu melindungi jendela dari komponen sinar matahari langsung dan sering juga dari bias langit dan komponen-komponen pemantul. Pada daerah banyak sinar matahari dan lembap, seperti di tenggara, radiasi bias-langit bisa menjadi signifikan (Gbr. 9.2b). Daerah yang memiliki banyak sinar matahari dengan banyak debu atau polusi juga bisa menciptakan banyak diffuse radiasi (Gbr. 9.2d). Di lain pihak, radiasi pantulan, bisa menjadi masalah besar di beberapa daerah seperti di bagian barat daya yang sinar mataharinya sangat

Gambar 9.2d Pada daerah yang lembab dan berdebu atau polusi, komponen bias-langit merupakan bagian besar dari total sorot sinar matahari.

Gambar 9.2e Pada daerah kering, sorotan sinar matahari terutama terdiri dari komponen langsung dan pemantul. Namun, pantulan dari permukaan berkilat dapat menjadi masalah pada semua iklim.

kuat dan permukaan dengan pantulan tinggi sering menyertai. Masalah ini juga muncul di daerah urban yang sering kali ditemukan permukaan dengan daya pantul tinggi. Paving beton (perkerasan beton), dinding putih, dan pantulan permukaan berkilat semuanya dapat memantulkan radiasi sinar matahari yang kuat ke dalam jendela. Ada beberapa kasus di mana fasade bagian utara sebuah bangunan akan mengalami sorotan sinar matahari seperti yang dialami di bagian selatan karena bangunan besar dengan permukaan berkilat dibangun menghadap utara (Gbr. 9.2e).

Oleh karena itu, jenis, ukuran, dan lokasi perangkat peneduh, tergantung pada ukuran komponen langsung, bias, dan komponen pemantul seluruh beban sinar matahari. Biasanya komponen pemantul sangat baik jika dikendalikan dengan mengurangi sifat pemantul permukaan yang menantang. Hal ini sering kali sangat baik jika diatasi dengan menggunakan tanaman. Namun, komponen bias langit merupakan masalah yang lebih berat karena radiasi datang dari sudut pandang yang lebar. Dengan demikian, biasanya hal ini dikendalikan dengan menggunakan perangkat peneduh tambahan di ruang dalam atau pemakaian peneduh di antara glazing. Komponen sinar matahari langsung akan efektif jika dikendalikan oleh perangkat peneduh di luar.

Kebutuhan akan peneduh kelihatannya bertolak belakang dengan kebutuhan akan penerangan sinar matahari. Untungnya, energi sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan dengan terkendali, dapat menyediakan penerangan berkualitas tinggi dan mengurangi tingkat panas. Hal ini dicapai dengan membiarkan cahaya masuk secukupnya saja sehingga penerangan buatan dapat dimatikan. Pembahasan lebih terperinci tentang cahaya alami melawan peneduh akan ditemukan pada Subbab 15.8.

Ketika tidak digunakan sebagai penerangan alami, radiasi matahari harus dihalangi selama periode kelebihan panas dalam setahun. Penduduk di bagian utara akan mengalami periode pemanasan berlebihan yang terjadi hanya selama beberapa bulan lamanya. Penduduk yang sama di selatan atau sebuah gedung kantor besar di utara bisa mengalami masa-masa pemanasan berlebihan yang dua atau tiga kali lebih lama. Maka, periode kebutuhan peneduh suatu bangunan tergantung pada iklim dan juga kondisi alamiah bangunan itu sendiri.

Periode kebutuhan peneduh akan dibahas di bawah ini.

Perangkat peneduh ideal akan menghalangi radiasi sinar matahari secara maksimum, tetapi tetap membiarkan pemandangan serta udara melewati jendela. Tabel 9.2 menunjukkan beberapa perangkat peneduh eksternal permanen yang biasa digunakan. Semuanya merupakan variasi, baik dari overhang horizontal, sirip vertikal, maupun *eggcrate* (berbentuk tempat telur), yang merupakan kombinasi dari dua yang pertama. Louvers dan sirip bisa dimiringkan untuk tambahan kendali sinar matahari. Hampir tak terhitung jumlah variasi yang mungkin dilakukan, seperti dapat dilihat pada hasil karya arsitek seperti Le Corbusier, Oscar Niemeyer, Richard Neutra, Paul Rudolph, dan E. D. Stone. Sebagai contoh hasil karya mereka dan banyak lagi arsitek lainnya, penulis sangat menganjurkan buku *Solar Control and Shading Devices* oleh Olgyay. Walaupun bab ini menekankan soal peneduh oleh bangunan itu sendiri, sering kali terdapat peneduh yang baik yang berasal dari lingkungan sekitar. Bangunan yang berdekatan, pohon, dan lahan buatan semuanya dapat menghasilkan peneduh yang besar. Kondisi peneduh akan dibahas di Bab 11. Perencanaan Tapak dan Komunitas.

Perangkat peneduh eksternal akan dibahas terlebih dahulu dan sangat terperinci karena perangkat ini sangat efektif sebagai alat penghalang matahari dan memiliki efek terhadap estetika bangunan.

TABEL 9.2 *Berbagai Macam Contoh Alat Peneduh*

	Gambar Peneduh	*Keterangan Nama*	*Orientasi yang Terbaik*	*Komentar*
I		**Overhang** Panel horizontal	Selatan, Barat, Timur	Menangkap udara panas Dapat dibebani oleh salju dan angin
II		**Overhang** Louvers horizontal pada bidang horizontal	Selatan, Barat, Timur	Pergerakan udara bebas Beban salju atau angin kecil Berskala kecil **Pilihan terbaik untuk dibeli!**
III		**Overhang** Louvers horizontal pada bidang vertikal	Selatan, Barat, Timur	Memperkecil panjang Overhang Pandangan terbatasi Juga tersedia dengan louver miniatur
IV		**Overhang** Panel vertikal	Selatan, Barat, Timur	Pergerakan udara bebas Tanpa beban salju Pandangan terbatasi
V		**Sirip** vertikal	Barat, Timur, Utara	Menghalangi pemandangan Hanya untuk fasade bagian utara pada iklim panas
VI		**Sirip** vertikal miring	Barat, Timur	Miring ke arah utara Sangat membatasi pemandangan
VI		**Eggcrate**	Barat, Timur	Untuk iklim yang sangat panas Pemandangan sangat terbatas Menangkap udara panas
VI		**Eggcrate** dengan sirip miring	Barat, Timur	Miring ke arah utara Pemandangan sangat terbatas Menangkap udara panas Untuk iklim sangat panas

Dari buku *Architectural Graphic Standards*, edisi ke-8, John R. Hoke, ed.Wiley, 1998

9.3 ORIENTASI PERANGKAT PENEDUH

Overhang horizontal di jendela yang menghadap selatan sangat efektif selama musim panas karena matahari sangat tinggi di langit. Walaupun kurang efektif, overhang horizontal juga baik diletakkan di bagian timur, tenggara, barat daya, dan barat. Pada iklim panas, jendela utara juga perlu dilindungi karena selama musim panas matahari terbit dari sebelah utara arah timur dan terbenam di sebelah utara arah barat. Karena pada saat-saat begini kedudukan matahari terletak rendah di langit, overhang horizontal tidaklah terlalu efektif dan sirip-sirip vertikal kecil akan berfungsi dengan baik di fasade bagian utara (Gbr.9.3a).

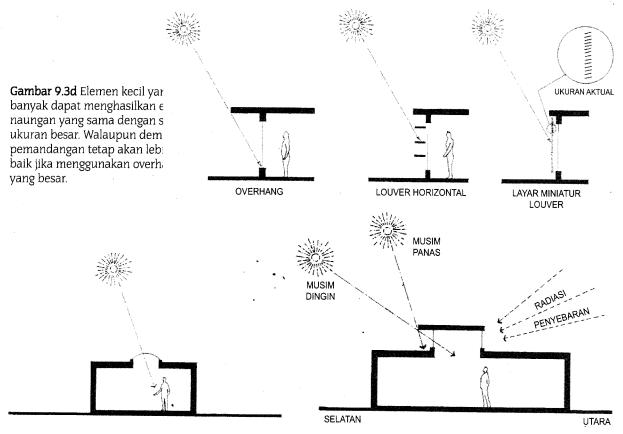
Gambar 9.3a Setiap orientasi memerlukan strategi peneduhan yang berbeda

Gambar 9.3b Denah lantai ini menggambarkan bagaimana jendela pada fasade barat dan timur dapat menghadap selatan atau utara.

Gambar 9.3c Peneduhan akan menjadi lebih baik, saat kombinasi dari elemen vertikal serta horizontal digunakan.

Jendela yang menghadap barat dan timur menghadapi masalah yang sulit karena sudut altitude matahari yang rendah pada pagi dan sore hari. Solusi terbaik sejauh ini adalah dengan sesedikit mungkin menggunakan jendela di bagian timur, terutama di bagian barat. Solusi terbaik berikutnya adalah menempatkan jendela di fasade timur dan barat menghadap utara atau selatan seperti yang diperlihatkan pada denah di Gambar 9.3b. Jika hal tersebut tidak memungkinkan, maka teritisan horizontal dan/atau sirip vertikal sebaiknya digunakan, tetapi dengan pengertian bahwa jika hal tersebut dipergunakan dengan sangat efektif, maka hal itu akan menyebabkan terhalangnya pemandangan. Bahkan, perangkat yang dapat dipindahkan seperti yang digambarkan di bawah ini pun, walaupun lebih baik, tetap saja menghalangi pandangan pada beberapa saat dalam sehari.

Untuk peneduh permanen yang lebih efektif, kombinasi dari elemen vertikal dan horizontal sebaiknya digunakan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.3c. Ketika elemen vertikal dan horizontal ini dipasang rapat, sistem ini disebut ***eggcrate*** (seperti bentuk tempat telur). Perangkat ini paling tepat dipasang di fasade bagian timur dan barat di tempat yang beriklim panas dan dipasang di fasade bagian tenggara di tempat yang beriklim sangat panas. Karena salah satu masalah peneduh adalah menghalangi sinar matahari pada kemiringan tertentu, perangkat peneduh kecil dalam jumlah banyak dapat memiliki efek yang sama seperti satu perangkat berukuran besar seperti pada Gambar 9.3d. Dalam setiap kasus, proporsi panjang

Gambar 9.3d Elemen kecil yar banyak dapat menghasilkan e naungan yang sama dengan s ukuran besar. Walaupun dem pemandangan tetap akan leb: baik jika menggunakan overh, yang besar.

Gambar 9.3e Skylight (glazing horizontal) sebaiknya dihindari karena menghadap matahari musim panas.

Gambar 9.3f Jendela clerestory sebaiknya digunakan daripada skylight karena mereka memberi cahaya matahari masuk dengan cara yang terkendali.

overhang terhadap bagian vertikal jendela yang terlindungi sama. Tersedia layar yang terdiri dari miniatur louver (sekitar sepuluh per inci) yang sangat efektif dalam menghalangi sinar matahari dan tembus pandang seperti layar untuk serangga.

Ingat, pemandangan merupakan prioritas utama untuk hampir semua jendela. Menghalangi pemandangan demi melindungi jendela merupakan hasil yang memang berlawanan. Untuk alasan ini, overhang horizontal biasanya merupakan pilihan terbaik. Walaupun menghalangi pandangan ke arah langit, namun yang lebih penting adalah tidak menghalangi pemandangan horizontal.

Skylight (glazing horizontal), menciptakan masalah peneduh yang sulit karena mereka menghadap matahari langsung hampir selama masa terburuk dalam setahun, siang musim panas (Gbr. 9.3e). Maka skylight, seperti jendela di bagian timur dan barat, sebaiknya dihindari. Solusi yang lebih baik untuk membiarkan cahaya siang hari dan cahaya matahari musim dingin masuk melalui atap adalah dengan menggunakan jendela clerestory (Gbr. 9.3f). Glazing vertikal pada jendela clerestory bisa dilindungi dengan menggunakan teknik jendela yang sudah dijelaskan pada bab ini. Jika skylight berbentuk kubah akan digunakan, pertimbangkan untuk menggunakan peneduh/pemantul seperti yang digambarkan pada Gambar 7.6g.

Peneduh permanen lebih sering digunakan daripada yang dapat digerak-gerakkan karena kesederhanaannya, rendahnya biaya, dan mudahnya perawatan. Namun, untuk beberapa alasan yang penting, penggunaan peneduh yang dapat bergerak (*movable shading*) sebaiknya dipertimbangkan dengan serius.

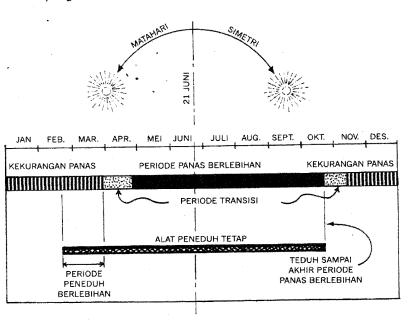
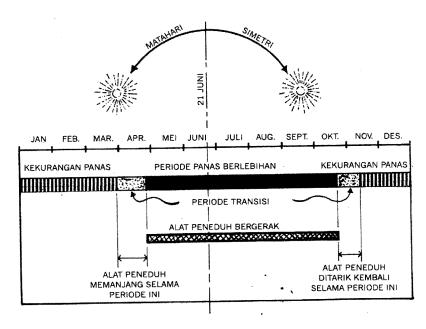
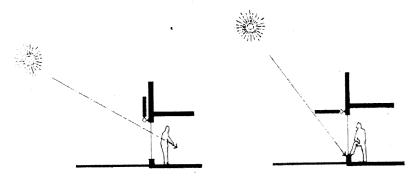
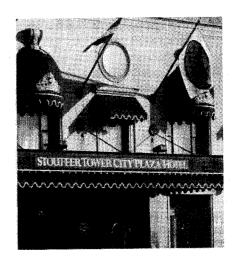
9.4 PERANGKAT PENEDUH YANG DAPAT BERGERAK (*MOVABLE SHADING*)

Tidaklah mengejutkan bahwa movable shading memberikan

respons yang lebih baik terhadap keadaan cuaca yang dinamis dibanding perangkat permanen. Karena kita membutuhkan perlindungan selama periode panas berlebihan dan sinar matahari selama periode kekurangan panas, perangkat peneduh seharusnya menyelaraskan diri dengan keadaan suhu. Dengan perangkat peneduh permanen, lamanya matahari pada jendela bukan berfungsi untuk suhu, tetapi lebih untuk posisi matahari (Gbr. 9.4a). Sayangnya, arah sudut datang sinar matahari dan suhu tidak selalu selaras. Contohnya, pola cuaca sehari-hari bervariasi cukup banyak, terutama pada musim semi dan musim gugur ada satu hari yang mungkin terlalu panas, namun keesokan harinya bisa saja menjadi sangat dingin. Perangkat permanen yang cukup lebar untuk menghalangi sinar matahari pada akhir bulan April tidak dapat membuat penyesuaian pada saat hari dingin bulan yang sama.

Alasan penting lainnya atas ketidakpastian antara sudut datang sinar matahari dengan suhu adalah ketidakcocokan antara tahun matahari dan tahun suhu. Karena massa yang sangat besar, bumi panas secara lambat pada musim semi dan tidak mencapai tingkat maksimal suhu musim panasnya sampai satu atau dua bulan sesudah *solstice* ---titik terjauh matahari pada musim panas (21 Juni). Hal serupa terjadi pada musim dingin, juga ada satu atau dua bulan beda waktu dalam mendinginkan bumi. Efek pemanasan minimum dari matahari terjadi pada 21 Desember, namun hari terdingin terjadi pada bulan Januari atau Februari. Gambar 9.4b menunjukkan periode panas berlebihan dan kekurangan panas dalam satu tahun dari sebuah area iklim di Amerika Serikat. Perlu dicatat bahwa periode panas berlebihan tidak simetris pada 21 Juni. Sebuah perangkat peneduh permanen akan melindungi pada periode waktu yang sama sebelum dan sesudah 21 Juni. Contohnya, 21 April dan 21 Agustus akan menerima bayangan yang sama meskipun bulan Agustus jelas lebih panas.

Untuk mendapatkan perlindungan utuh, kita bisa mencoba perangkat peneduh permanen (Gbr.9.4b), yang ukurannya cukup untuk memberi perlindungan selama akhir periode panas berlebihan. Walaupun kita sekarang memiliki perlindungan selama masa panas berlebihan, kita juga melindungi jendela selama masa kekurangan panas. Hanya perangkat peneduh yang dapat bergerak, seperti yang terlihat pada Gambar 9.4c, yang bisa mengatasi masalah ini sebaik mengatasi masalah harian yang bervariasi. Perkecualian terjadi pada gedung yang tidak membutuhkan pemanasan sinar matahari pasif. Dalam kasus ini, akan lebih tepat jika digunakan perangkat peneduh permanen.

Gambar 9.4a Dengan alat peneduh yang tetap, eksposur sinar matahari terhadap jendela merupakan fungsi waktu tahunan dan bukan fungsi suhu.

Gambar 9.4b Untuk alat peneduh tetap, periode naungan adalah simetris sekitar Juni 21. Namun, tahun termal tidak simetris untuk sekitar Juni 21, naungan yang cukup banyak akan terjadi pada akhir musim dingin.

Gambar 9.4c Sebuah alat peneduh yang dapat bergerak memungkinkan naungannya sesuai fase dengan tahun termal.

Gambar 9.4d Sebuah peneduh yang dapat bergerak dengan hanya dua alternatif posisi yang sederhana untuk setiap tahun dapat berfungsi sangat baik.

Gambar 9.4e Awning merupakan elemen yang tidak asing bagi banyak bangunan pada pertengahan awal abad dua puluh. Setelah memberi naungan yang efektif pada musim panas, mereka dapat dipindah hingga membiarkan cahaya dan sinar matahari memasuki bangunan pada musim dingin.

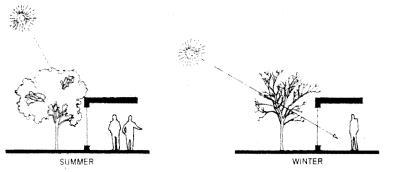
Pergerakan perangkat peneduh dapat menjadi sangat sederhana atau sangat rumit. Penyesuaian sebanyak dua kali setahun bisa cukup efektif dan mudah. Pada akhir musim semi, pada permulaan periode panas berlebihan, perangkat peneduh akan secara manual diperbesar/dilebarkan. Pada akhir periode panas berlebihan di penghujung musim semi, perangkat tersebut akan dikembalikan ke posisi semula untuk mendapatkan siraman sinar matahari secara menyeluruh (Gbr.9.4d).

Sebelum perangkat pendingin udara (*Air Conditioning –AC*) tersedia, awning digunakan untuk melindungi jendela dengan efektif pada musim panas. Awning digunakan pada banyak bangunan, tetapi biasanya digunakan pada bangunan mewah seperti hotel kelas atas (Gbr. 9.4e). Pada musim dingin, awning tersebut tidak dipasang untuk membiarkan matahari dan cahaya lebih banyak masuk ke dalam bangunan. Awning modern merupakan perangkat peneduh yang sangat baik. Awning tersebut kuat, menarik, dan sangat mudah disesuaikan dengan kebutuhan sehari-hari, bahkan kebutuhan per jamnya. Perangkat peneduh yang dapat bergerak, disesuaikan dengan sinar matahari dengan kebutuhan sehari-hari, sering kali bekerja secara otomatis. Sementara itu, perangkat yang hanya perlu penyesuaian dua kali setahun biasanya dioperasikan secara manual. Tabel 9.4 menampilkan ragam perangkat peneduh yang dapat bergerak.

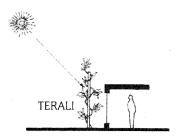
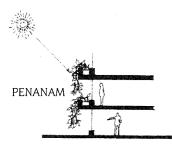
Dalam banyak cara, perangkat peneduh yang terbaik adalah tanaman berdaun gugur kebanyakan

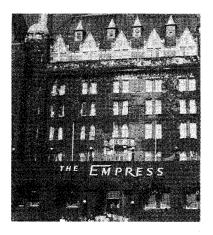
TABEL 9.4 *Berbagai Macam Contoh Alat Peneduh yang Dapat Bergerak*

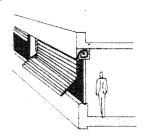
Gambar Peneduh	*Keterangan Nama*	*Orientasi yang Terbaik*	*Komentar*
IX	**Overhang** Awning	Selatan, Barat, Timur	Dapat disesuaikan secara berkala, harian, atau pada saat badai Menangkap udara panas Baik untuk pemandangan **Pilihan terbaik untuk dibeli!**
X	**Overhang** Louvers horizontal yang dapat berputar	Selatan, Barat, Timur	Akan menghalangi sebagian pemandangan dan matahari musim dingin
XI	**Sirip** Sirip berputar	Barat, Timur	Lebih efektif dibanding dengan yang tetap Pemandangan kurang dibanding peneduh sirip miring tetap
XII	**Eggcrate**	Barat, Timur	Pemandangan sangat terganggu tetapi sedikit lebih baik dibanding eggcrate yang tetap Hanya untuk iklim panas
XIII	**Tanaman deciduous** (berdaun hijau sepanjang tahun) Pohon-pohonan Tanaman rambat	Barat, Timur, Tenggara, Barat Daya	Pemandangan akan dibatasi, tetapi sangat menarik jika menggunakan pohon yang rendah Udara didinginkan
XIV	**Peneduh roller ruang luar**	Barat, Timur, Tenggara, Barat Daya	Sangat fleksibel dari posisi terbuka sama sekali hingga tertutup sama sekali Pemandangan terbatas saat penutup digunakan

Dari buku *Architectural Graphic Standards*, edisi ke-8, John R. Hoke, ed.Wiley, 1998

Gambar 9.4f Efek peneduh yang diperoleh dengan adanya pepohonan bergantung pada jenis, bentuk potongan, serta umur pohon tersebut. Transmisi cahaya bisa sekecil 20 persen pada musim panas hingga 70 persen pada musim dingin. Sayangnya, untuk sebagian pohon transmisi musim dingin bisa sekecil 40 persen.

di antaranya gugur selaras dengan musim *(thermal year)* karena pepohonan itu memperoleh dan kehilangan daun-daunnya sesuai reaksi terhadap perubahan suhu. Keuntungan lain dari penggunaan jenis tanaman ini adalah rendahnya biaya, memiliki kualitas estetika yang menyenangkan, kemampuan untuk mengurangi silau, privasi visual, dan kemampuan untuk mendinginkan udara dengan penguapan yang terjadi pada dedaunannya.

Keuntungan utama dalam penggunaan tanaman adalah fakta bahwa dalam keadaan tak berdaun, tanaman tersebut tetap menciptakan bayangan dengan jenis-jenis yang lebih banyak dibanding lainnya (Gbr.9.4f). Kekurangannya antara lain pertumbuhan yang lambat, ketinggian yang terbatas, dan kemungkinan terserang penyakit yang bisa menghancurkan tanaman tersebut. Bagaimanapun, tanaman merambat yang tumbuh di teralis atau tergantung dari pot tanaman dapat mengatasi berbagai masalah ini (Gbr.9.4g dan h). Dengan memberikannya cukup waktu, tanaman rambat akan tumbuh dengan ketinggian yang menakjubkan (Gbr.9.4i). Pada iklim panas, ada keuntungan besar dalam melindungi tidak hanya jendela, tetapi juga dinding. Semakin gelap dinding, semakin besar keuntungannya. Sebuah studi di Miami tentang tanaman rambat yang ketebalannya sedang (3 inci) yang tumbuh di dinding bagian barat menghasilkan penurunan suhu dinding sebanyak 8°F pada pagi hari dan 14°F pada sore hari. Contoh tanaman

Gambar 9.4g Tanaman rambat dapat menjadi peneduh dari sinar matahari yang sangat efektif. Sebagian dari jenis tanaman rambat akan mampu tumbuh hingga 30 kaki per tahun.

Gambar 9.4h Karena pohon tumbuh terlalu lambat untuk membantu bangunan bertingkat banyak, penggunaan semak di setiap lantai bangunan sebagai elemen peneduh merupakan hal yang sangat baik.

Gambar 9.4i Dinding yang berwarna sedang hingga gelap, pada iklim panas, akan mendapatkan keuntungan yang lebih dari tanaman-rambat.

Gambar 9.4j Peneduh roller untuk ruang luar terbuat dari bahan kayu, logam, atau plastik yang tipis dan panjang,
tidak hanya bergerak vertikal, namun juga dapat bersifat seperti awning.

rambat dan pepohonan peneduh dapat dilihat pada Bab 11. Pada umumnya, orientasi timur dan barat merupakan lokasi terbaik untuk tanaman berdaun gugur.

Perangkat peneduh lain yang dapat bergerak efektif adalah peneduh gulung luar bangunan. Gedung kantor Bateson menggunakan perangkat peneduh gulung yang terbuat dari kain secara sangat efektif (lihat Gbr.17.7c). Sebuah peneduh gulung yang terbuat dari lempengan kaku sangat populer penggunaannya di Eropa dan sekarang tersedia di sini (Gbr.9.4j). Perangkat ini menawarkan keamanan sebaik fungsinya sebagai peneduh yang sangat efektif. Jenis peneduh seperti ini terutama tepat digunakan pada bagian timur dan barat yang sulit terlindungi, di mana sekitar setengah hari hampir tidak diperlukan peneduh dan untuk setengah hari sisanya dibutuhkan peneduh secara utuh. Ada keyakinan umum bahwa karena biaya pemeliharaan bangunan harus serendah mungkin, maka perangkat peneduh yang dapat bergerak tidak dapat diterima. Hal ini seperti mengatakan bahwa karena biaya pemeliharaan mobil harus rendah, maka roda-rodanya sebaiknya permanen dan sebaiknya tidak dapat berputar. Penulis berpendapat bahwa penggunaan teknologi yang tersedia dan dengan detail yang teliti akan menghasilkan perangkat peneduh yang dapat bergerak yang bebas masalah dan berbiaya rendah dalam pemeliharaannya.

9.5 PERIODE PEMAKAIAN PERANGKAT PENEDUH DALAM SETAHUN

Jendela membutuhkan peneduh selama periode panas berlebihan dalam setahun, yang memenuhi fungsi untuk iklim dan jenis bangunan. Dari sudut pandang pemakaian energi, bangunan dapat dibagi menjadi dua jenis utama: dominasi-envelope **(*envelope-dominated*)** dan **dominasi-internal (*internally dominated*)**

Bangunan envelope dominated sangat terpengaruh oleh iklim karena bangunan tersebut memiliki rasio area permukaan yang luas dibanding volumenya dan karena bangunan ini hanya memiliki sumber pemanasan dalam yang sederhana. Di lain pihak, bangunan yang internally

dominated cenderung memiliki perbandingan yang kecil antara area permukaaan dengan volume dan mengumpulkan panas internal dari sumber seperti mesin, cahaya, dan manusia. Lihat Tabel 9.5A untuk perbandingan antara kedua jenis bangunan tersebut.

Cara yang lebih tepat untuk mendefinisikan bangunan selain dua cara di atas adalah konsep **keseimbangan titik suhu (*Balance Point Temperature* atau BPT)**. Bangunan tidak membutuhkan pemanasan ketika suhu luar ruangan hanya berada sedikit di bawah zona kenyamanan karena adanya sumber panas internal (cahaya, manusia, mesin, dan lain lain) dan karena kulit bangunan memperlambat hilangnya panas. Jadi, semakin banyak sumber panas dan semakin efektifnya kulit bangunan bisa mencegah panas, maka semakin rendah pula pemanasan suhu udara luar yang dibutuhkan. BPT adalah suhu udara luar di bawah keadaan yang membutuhkan pemanasan. Ini merupakan konsekuensi rancangan bangunan dan fungsinya, bukan iklim. BPT untuk bangunan berjenis dominasi internal sekitar 50°F; sedangkan untuk jenis bangunan dominasi envelope sekitar 60°F.

TABEL 9.5A *Perbandingan Bangunan Dominasi envelope (envelope-dominated) dengan Dominasi-Internal (Internally dominated)*

Karakteristik	Dominasi-envelope (*Envelope-Dominated*)	Dominasi-internal (*Internally Dominated*)
Keseimbangan titik suhu[a] (*Balance Point Temperature)*	60°F	50°F atau kurang
Bentuk Bangunan	Tersebar keluar	Kompak
Rasio Luas-permukaan-dengan-volume	Tinggi	Rendah
Penambahan panas internal	Rendah	Tinggi
Ruangan internal	Sangat sedikit	Banyak
Jumlah dinding luar dari ruangan tipikal	2 hingga 3	0 hingga 1
Penggunaan pemanasan pasif dengan matahari	Iya, kecuali untuk iklim sangat panas	Tidak, kecuali untuk iklim sangat dingin
Contoh tipikal	Residensial (rumah tinggal), Gedung perkantoran kecil, Gedung sekolah kecil[a]	Gedung perkantoran dan sekolah yang besar, auditorium, teater, pabrik

[a]Bangunan *superinsolated* cenderung memiliki keseimbangan titik suhu sekitar 50°F walaupun karakteristik lainnya merupakan tipe bangunan *envelope-dominated.*

Karena zona kenyamanan memiliki kisaran sekitar 10°F (68°F sampai 78°F), periode panas berlebihan dalam satu tahun mulai sekitar 10°F di atas BPT untuk segala jenis bangunan. Sebagai contoh, untuk jenis bangunan dominasi internal (BPT = 50°F), periode panas berlebihan akan mulai pada saat suhu luar ruangan rata-rata mencapai 60°F. Akibatnya, semakin rendah BPT sebuah bangunan, maka akan semakin pendek periode panas berlebihannya (musim pemanasan), dan semakin panjang periode panas berlebihannya (musim pendinginan) selama saat peneduh dibutuhkan.

Tabel 9.5B memperlihatkan periode-periode panas berlebihan dan kekurangan dalam satu tahunnya untuk bangunan dominasi internal (BPT = 50°F), dalam tiap tujuh belas daerah iklim, sementara Tabel 9.5C memberikan informasi yang sama untuk bangunan dominasi envelope (BPT = 60°F). Catat berapa banyak periode panas berlebihan yang lebih pendek waktunya di Tabel 9.5C dibanding dengan Tabel 9.5B. Selain itu, sangat penting dicatat bahwa periode panas berlebihan tidak simetris pada 21 Juni dalam setiap kasus. Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, tahun cuaca selalu tidak selaras dengan tahun matahari.

9.6 OVERHANG HORIZONTAL

Semua perangkat peneduh terdiri dari overhang horizontal, sirip vertikal, atau kombinasi dari keduanya. Overhang horizontal dan berbagai variasinya merupakan

TABEL 9.5B *Periode Kelebihan dan Kekurangan Panas dalam Satu Tahunnya untuk Bangunan Dominasi-Internal*[a,b,c]

Iklim Daerah	Kota Acuan	JAN	FEB.	MAR.	APR.	MEI	JUNI	JULI	AUG.	SEPT.	OKT.	NOV.	DES.
1	Hartford, CT												
2	Madison, WI												
3	Indianapolis, IN												
4	Salt Lake City, UT												
5	Ely, NE												
6	Medford, OR												
7	Fresno, CA												
8	Charleston, SC												
9	Little Rock, AK												
10	Knoxville, TN												
11	Phoenix, AZ												
12	Midland, TX												
13	Fort Worth, TX												
11	New Orleans, LA												
15	Houston, TX												
16	Miami, FL												
17	Los Angeles, CA												

21 JUNI

PERIODE PANAS BERLEBIHAN

PERIODE KEKURANGAN PANAS

PERIODE TRANSISI

[a] Tabel ini untuk bangunan yang terkonstruksi dengan baik, bangunan dominasi-internal modern (BPT=50°F)

[b] Periode panas berlebihan –saat suhu luar rata-rata lebih besar daripada 60°F

[c] Periode kekurangan panas –saat suhu luar rata-rata di bawah 50°F

TABEL 9.5C *Periode Kelebihan dan Kekurangan Panas dalam Satu Tahunnya untuk Bangunan Dominasi-Envelope*[a,b,c]

Iklim Daerah	Kota Acuan
1	Hartford, CT
2	Madison, WI
3	Indianapolis, IN
4	Salt Lake City, UT
5	Ely, NE
6	Medford, OR
7	Fresno, CA
8	Charleston, SC
9	Little Rock, AK
10	Knoxville, TN
11	Phoenix, AZ
12	Midland, TX
13	Fort Worth, TX
11	New Orleans, LA
15	Houston, TX
16	Miami, FL
17	Los Angeles, CA

JAN FEB. MAR. APR. MEI JUNI JULI AUG. SEPT. OKT. NOV. DES.

21 JUNI

PERIODE PANAS BERLEBIHAN

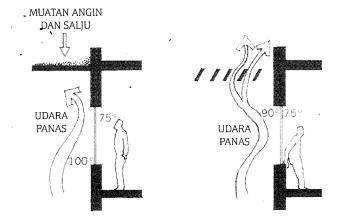
PERIODE KEKURANGAN PANAS

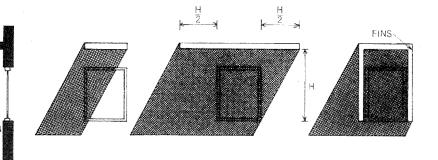
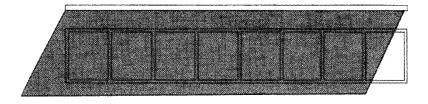
PERIODE TRANSISI

[a]Tabel ini untuk bangunan yang terkonstruksi dengan baik, bangunan, dominasi-envelope modern (BPT=60ºF)
[b]Periode panas berlebihan –saat suhu luar rata-rata lebih besar daripada 70ºF
[c]Periode kekurangan panas –saat suhu luar rata-rata di bawah 60ºF

pilihan terbaik untuk fasade di bagian selatan. Karena arahnya selektif, mereka bisa membiarkan cahaya matahari musim dingin yang rendah masuk, sementara pada musim panas memberikan keteduhan secara utuh dengan gangguan minimal terhadap pandangan. Perangkat tersebut juga merupakan pilihan terbaik untuk orientasi timur, tenggara, barat daya, dan barat.

Louver horizontal memiliki beberapa kelebihan dibanding overhang yang solid. Jeruji horizontal pada permukaan datar mengurangi beban struktural dengan membiarkan angin dan salju untuk melewatinya. Pada saat musim panas, perangkat tersebut juga meminimalisasi pengumpulan udara panas di samping jendela di bawah overhang (Gbr.9.6a). Jeruji horizontal pada permukaan datar vertikal (diagram III pada Tabel 9.2) tepat ketika jarak perkiraan dari dinding terbatas. Hal ini menjadi penting jika sebuah bangunan berada atau berdekatan dengan barisan properti. Jeruji juga bisa menjadi sangat berguna ketika arsitektur memerlukan elemen skala kecil dan tekstur yang kaya.

Ketika merancang sebuah overhang untuk fasade bagian selatan, haruslah diingat bahwa matahari datang dari arah tenggara sebelum siang hari dan dari barat daya pada sore hari. Maka, matahari akan mengepung overhang dengan lebar yang sama dengan jendela. Jendela sempit memerlukan overhang yang sangat lebar atau sirip vertikal sebagai tambahan pada overhang (Gbr. 9.6b). Jendela bergaris lebar tidak terlalu terpengaruh dengan masalah ini seperti dapat dilihat pada Gambar. 9.6c.

Gambar 9.6a Overhang louver horizontal mampu mengalirkan udara panas maupun meminimalisasi beban salju dan angin.

Gambar 9.6b Matahari dengan mudahnya dapat mengepung overhang dengan lebar yang sama dengan jendela. Gunakan overhang yang lebih lebar atau sirip vertikal di setiap sisi jendela.

Gambar 9.6c Jendela yang tersusun segaris akan dapat mempergunakan overhang secara efisien.

9.7 RANCANGAN PENEDUH UNTUK JENDELA BAGIAN SELATAN

Karena sirip vertikal tidak tepat digunakan pada fasade bagian selatan, langkah pertama adalah memutuskan apakah overhang horizontal permanen atau yang dapat bergerak yang akan digunakan. Gunakan aturan berikut untuk tujuan ini.

Aturan untuk Strategi Pemakaian Peneduh di Bagian Selatan

1. Jika peneduh merupakan perhatian utama dan pemanasan pasif tidak dibutuhkan, overhang permanenlah yang sebaiknya dipergunakan.
2. Jika baik pemanasan pasif maupun peneduh sama pentingnya (periode panas berlebihan dan kekurangan panas yang panjang), sebaiknya digunakan overhang yang dapat bergerak.

Langkah berikutnya adalah memilih atau merancang jenis overhang horizontal tertentu. Banyak contoh tipe generik dapat dilihat di Tabel 9.2 dan 9.4.

Ukuran, sudut pandang, dan lokasi perangkat peneduh bisa dipilih berdasarkan beberapa metode yang berbeda. Penggunaan model fisik merupakan yang paling kuat, fleksibel, dan informatif. Metode ini akan dijelaskan secara detail di Bagian 9.17. Kemudian ada yang dinamakan metode grafik, yang dijelaskan di buku-buku yang lain (lihat daftar bacaan yang dianjurkan pada bagian akhir bab ini). Akhirnya, terdapat banyak petunjuk mengenai aturan dan rancangan. Karena metode terakhir merupakan yang tercepat dan termudah, metode ini akan dijelaskan di sini dalam beberapa detail. Haruslah dicatat sebelumnya bahwa metode ini selalu terbatas fleksibilitasnya. Maka penulis sangat merekomendasikan penggunaan model fisik (maket) dalam hubungannya dengan petunjuk desain di bawah ini.

9.8 PANDUAN RANCANGAN OVERHANG PERMANEN BAGIAN SELATAN

Seperti yang telah dinyatakan pada peraturan di atas, overhang horizontal paling tepat digunakan ketika pemanasan pasif tidak diinginkan. Maka, tujuannya adalah menemukan panjang overhang yang akan melindungi jendela bagian selatan selama berlangsungnya periode panas berlebihan.

Gambar.9.8a memperlihatkan sudut datangnya matahari pada akhir periode panas berlebihan. Karena pada saat sisa periode panas berlebihan letak matahari di langit lebih tinggi, segala jenis overhang yang diperpanjang sepanjang garis yang terlihat akan sepenuhnya melindungi jendela selama periode panas berlebihan. **Garis bayangan penuh** ditunjukkan oleh sudut "A" dan ditarik dari ambang jendela. Sudut ini diberikan untuk setiap daerah iklim

TABEL 9.8A *Ukuran Overhang Bagian Selatan untuk Bangunan Dominasi-Internal*[a,b,c]

Iklim Daerah	Kota Acuan	Sudut "A" (Bayangan Penuh)	Sudut "B" (Matahari Penuh)
1	Hartford, CT	59	54
2	Madison, WI	58	47
3	Indianapolis, IN	53	47
4	Salt Lake City, UT	60	49
5	Ely, NE	69	59
6	Medford, OR	59	45
7	Fresno, CA	55	33
8	Charleston, SC	54	36
9	Little Rock, AK	54	43
10	Knoxville, TN	53	41
11	Phoenix, AZ	48	d
12	Midland, TX	52	40
13	Fort Worth, TX	54	41
14	New Orleans, LA	49	d
15	Houston, TX	49	d
16	Miami, FL	40	d
17	Los Angeles, CA	33	d

[a]Tabel ini untuk jendela yang menghadap selatan atau dengan orientasi hingga 20 derajat ke selatan.
[b]Sebuah overhang yang mencapai "garis bayangan penuh" akan menaungi sebuah jendela sebagian besar periode panas berlebihan.
[c]Sebuah overhang yang tidak mencapai "garis bayangan penuh" akan membiarkan eksposur matahari yang penuh sepanjang periode kekurangan panas.
[d]Gunakan overhang tetap yang memproyeksi hingga "garis bayangan penuh" karena pemanasan matahari secara pasif tidak diperlukan.

pada Tabel 9.8A untuk bangunan bertipe dominasi internal dan pada Tabel 9.8B untuk bangunan bertipe dominasi envelope.

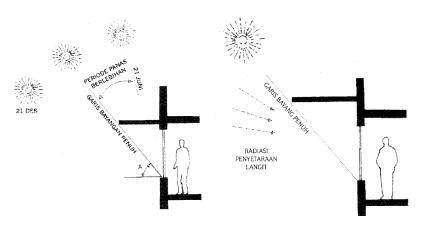
Overhang yang lebih tinggi di dinding dan diperpanjang sampai ke "garis bayangan utuh" akan tetap menghalangi radiasi langsung dan juga memberikan pandangan yang lebih luas ke arah langit. Bagaimanapun, hal ini tidak diinginkan di daerah dengan bias radiasi yang besar karena akan menambah pemanasan berlebihan dan terjadi silau visual dari peningkatan eksposure langit cerah (Gbr. 9.8b). Bahkan, overhang seperti pada Gambar.9.8a mungkin saja tidak sesuai untuk daerah yang sangat lembap sebab lebih dari 50 persen dari total radiasi bisa berasal dari bias langit. Daripada menambah panjang overhang, mungkin akan lebih menarik jika menggunakan perangkat lain seperti tirai atau tanaman untuk menghalangi bias radiasi dari langit rendah.

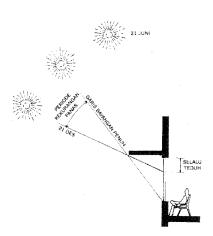
Pada saat matahari tenggelam di bawah "garis bayangan utuh" dalam satu tahun, secara bertahap jendela akan menerima radiasi sinar matahari. Bagaimanapun, bagian atas jendela akan berada dalam bayangan bahkan pada saat *solstice* pada musim dingin (Gbr.9.8c). Ingatlah bahwa setiap overhang permanen yang sangat efektif saat musim panas juga akan menghalangi beberapa pemanasan pasif saat musim dingin.

Selanjutnya, sebuah perpanjangan overhang ke garis bayangan utuh akan menghasilkan sebuah ruang dalam yang cukup gelap. Jika pencahayaan siang hari dibutuhkan, seperti yang sering terjadi, strategi yang ada di Bab

TABEL 9.8B *Ukuran Overhang Bagian Selatan pada Bangunan Dominasi-Envelope* [a,b,c]

Iklim Daerah	Kota Acuan	Sudut "A" (Bayangan Penuh)	Sudut "B" (Matahari Penuh)
1	Hartford, CT	65	59
2	Madison, WI	64	55
3	Indianapolis, IN	63	55
4	Salt Lake City, UT	65	60
5	Ely, NE	72	69
6	Medford, OR	71	61
7	Fresno, CA	64	45
8	Charleston, SC	65	49
9	Little Rock, AK	63	52
10	Knoxville, TN	62	51
11	Phoenix, AZ	56	49
12	Midland, TX	63	50
13	Fort Worth, TX	61	54
14	New Orleans, LA	63	44
15	Houston, TX	60	42
16	Miami, FL	50	d
17	Los Angeles, CA	61	43

[a] Tabel ini untuk jendela yang menghadap selatan atau dengan orientasi hingga 20 derajat ke selatan.
[b] Sebuah overhang yang mencapai "garis bayangan penuh" akan menaungi sebuah jendela sebagian besar periode panas berlebihan.
[c] Sebuah overhang yang tidak mencapai "garis bayangan penuh" akan membiarkan eksposur matahari yang penuh sepanjang periode kekurangan panas.
[d] Gunakan overhang tetap yang akan memproyeksi hingga "garis bayangan penuh" karena pemanasan matahari secara pasif tidak diperlukan.

Gambar 9.8a "Garis bayangan penuh" menentukan panjang overhang yang dibutuhkan sebagai peneduh pada masa periode panas berlebihan.

Gambar 9.8b Overhang tetap yang diletakkan dengan posisi yang cukup tinggi pada dinding tidaklah cocok pada iklim yang lembap.

Gambar 9.8c Sebuah overhang tetap yang dirancang sebagai peneduh jendela sepanjang periode panas berlebihan juga akan menjadi peneduh terhadap sebagian jendela pada masa periode kekurangan panas.

13 sebaiknya dicermati. Teknik yang digambarkan di sana membiarkan cahaya yang cukup banyak untuk masuk ke dalam bangunan dan juga meminimalisasi efek pemanasan berlebihan.

Prosedur untuk Merancang Overhang Bagian Selatan

1. Tentukan daerah iklim bangunan dari Gambar 5.5
2. Tentukan sudut "A" dari Tabel 9.8A untuk bangunan dominasi internal dan dari Tabel 9.8B untuk bangunan dominasi envelope.
3. Pada potongan jendela tariklah "garis bayangan utuh" dari ambang jendela.
4. Setiap overhang yang diperpanjang sampai garis ini akan memberikan bayangan utuh pada hampir selama periode panas berlebihan dalam satu tahun.
5. Overhang yang lebih pendek akan tetap berguna, bahkan jika mereka hanya sedikit memberikan perlindungan selama periode panas berlebihan.

9.9 PANDUAN RANCANGAN OVERHANG BAGIAN SELATAN YANG DAPAT BERGERAK

Rancangan dari *movable overhang* sama dengan rancangan untuk overhang permanen untuk periode panas dalam setahun. Namun, agar pemanasan pasif sinar matahari dapat efektif, overhang harus dipendekkan untuk menghindari keteduhan pada jendela saat periode kekurangan panas.

Untuk memastikan jendela mendapat sinar matahari sepenuhnya selama periode kekurangan panas (musim dingin), dua titik harus ditekankan. *Pertama* adalah menentukan pada saat mana dalam setahun overhang harus diundurkan, dan yang *kedua* adalah untuk menentukan seberapa jauh benda tersebut diundurkan.

Pendekatan yang paling praktis dan sederhana untuk pertanyaan pertama adalah dengan memperpanjang dan mengundurkan perangkat peneduh selama periode peralihan dari musim semi dan peralihan musim gugur. Periode ini digambarkan pada Tabel 9.5B dan 9.5C. Membuat perubahan tahunan sebanyak dua kali dapat dikatakan tidak lebih sulit daripada mencuci jendela dan dapat dilakukan pada waktu yang sama.

Sudut matahari pada saat akhir periode kekurangan panas (musim dingin) menentukan "**garis matahari utuh**" (Gbr.9.9a). Karena kedudukan matahari yang lebih rendah posisinya dibanding selama sisa masa musim dingin, segala jenis overhang pada garis ini tidak akan menghalangi matahari ketika diperlukan. "Garis matahari utuh" dijelaskan oleh sudut "B" dan digambar dari kepala jendela. Sudut yang tepat diberikan untuk setiap daerah iklim dapat dilihat pada Tabel 9.8A dan 9.8B.

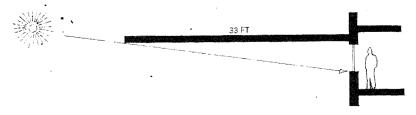
Prosedur untuk Merancang *Movable Overhang* Bagian Selatan

1. Tentukan daerah iklim bangunan dari Gambar. 5.5
2. Tentukan sudut "A" dan "B" dari Tabel 9.8A untuk bangunan dominasi internal dan Tabel 9.8B untuk bangunan dominasi envelope.
3. Pada potongan jendela, gambarkan "garis bayangan utuh" (sudut "A") dari ambang jendela, dan gambar "garis matahari utuh" (sudut "B") dari bagian kepala jendela (Gbr.9.9b).

Gambar 9.9a "Garis bayangan penuh" menentukan proyeksi maksimum yang diperbolehkan dari sebuah overhang sepanjang musim dingin.

Gambar 9.9b Overhang tetap, tidak seperti overhang yang dapat bergerak, tidak akan berfungsi dengan baik karena tidak dapat berada pada "garis bayangan penuh" sekaligus berada di belakang "garis sinar matahari penuh" secara bersamaan.

4. Sebuah (overhang yang dapat bergerak) harus diperpanjang ke "garis bayangan utuh" selama masa panas berlebihan dalam setahun dan diundurkan melewati "garis matahari utuh" selama periode kekurangan panas. Lihat Gambar 9.9c untuk beberapa jenis penyelesaian.
5. Overhang sebaiknya diperpanjang selama peralihan musim semi dan diundurkan selama peralihan musim gugur. Tanggal periode peralihan ini bisa ditentukan dari Tabel 9.5B untuk bangunan dominasi internal dan Tabel 9.5C untuk bangunan dominasi envelope.

Gambar 9.9c Alternatif overhang yang dapat bergerak dapat terlihat baik pada posisi untuk musim dingin (kekurangan panas) maupun musim panas (panas berlebihan).

Gambar 9.10a Overhang yang berukuran 33-kaki ini diperlukan untuk memberi naungan sebuah jendela dengan ukuran 4-kaki untuk 21 Agustus pada jam 18:00 pada 36N latitude menggambarkan kesia-siaan usaha untuk menaungi jendela bagian barat dan timur sepenuhnya dengan overhang horizontal.

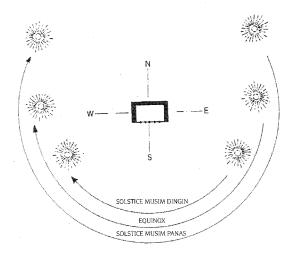
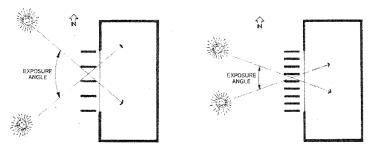
9.10 PENEDUH UNTUK JENDELA BAGIAN TIMUR DAN BARAT

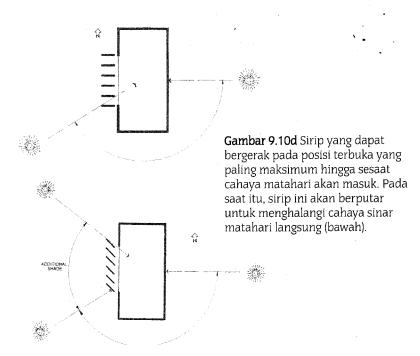
Pada orientasi timur dan barat, tidak seperti di selatan, tidak memungkinkan untuk menghalangi matahari musim panas dengan overhang permanen. Gambar 9.10a memperlihatkan betapa gelapnya jika mencoba melindungi jendela bagian timur dan barat secara menyeluruh dengan menggunakan overhang horizontal. Meskipun sinar matahari langsung tidak bisa dihalangi selama periode panas berlebihan, melindungi jendela-jendela pada waktu tertentu saja merupakan hal yang sangat berharga.

Karena hanya sedikit panas yang bisa diharapkan diperoleh dari jendela timur dan barat saat musim dingin, perangkat peneduh pada orientasi tersebut dapat dirancang berdasarkan kebutuhan musim panas.

Tidak ada perangkat peneduh yang dapat secara utuh melindungi jendela timur atau jendela barat dan sekaligus membiarkan pemandangan bagus karena kedudukan matahari yang rendah akan menjadi bagian dari pemandangan tersebut. Karena pemandangan menjadi prioritas yang sangat tinggi bagi sebuah jendela, penulis berpendapat bahwa sebuah overhang horizontal menawarkan kombinasi terbaik antara pemandangan dan keteduhan pada bagian timur dan barat. Teritisan ini harus jauh lebih panjang dibanding yang terdapat di bagian selatan dan sebaiknya didukung oleh perangkat lain seperti tirai Venetian.

Sirip vertikal sering kali ditampilkan sebagai pilihan perangkat peneduh pada bagian timur dan barat. Pada kenyataannya, mereka memberi keteduhan yang tidak lebih baik dibanding overhang horizontal dan mereka menghalangi pemandangan lebih banyak lagi.

Gambar 9.10b menggambarkan fakta bahwa ada suatu waktu di pagi hari dan siang hari saat matahari menyinari langsung fasade timur dan barat bangunan waktu musim panas selama enam bulan dalam setahun (21 Maret sampai 21 September). Maka, sirip vertikal yang langsung menghadap timur atau barat akan membiarkan beberapa penetrasi matahari setiap harinya selama masa enam bulan terburuk dalam setahun. Untuk meminimalisasi penetrasi sinar matahari, kita perlu meminimalisasi "sudut exposure" (Gbr. 9.10c). Kita dapat

Gambar 9.10b Denah ini memperlihatkan pergerakan matahari pada sudut azimuthnya pada waktu yang berbeda dalam satu tahun, mulai dari matahari terbit hingga terbenam.

Gambar 9.10c Sebuah denah sirip vertikal di sebuah fasade bagian timur (barat) menggambarkan bagaimana penetrasi matahari dapat dikurangi dengan pergerakan sirip yang saling mendekati, dengan membuatnya lebih dalam, atau dengan keduanya.

Gambar 9.10d Sirip yang dapat bergerak pada posisi terbuka yang paling maksimum hingga sesaat cahaya matahari akan masuk. Pada saat itu, sirip ini akan berputar untuk menghalangi cahaya sinar matahari langsung (bawah).

mencapai ini dengan mengurangi ruang di antara sirip dengan membuat sirip lebih dalam, baik semuanya maupun sebagian saja. Supaya efektivitasnya tinggi, sirip tersebut harus dalam dan diatur berdekatan letaknya sehingga hampir tidak mungkin melihat pemandangan melaluinya.

Sirip vertikal dapat tepat digunakan baik ketika ada keinginan untuk mengatur arah pemandangan (contoh: sirip miring yang menghadap timur laut untuk menghalangi pemandangan ke arah barat dan barat daya ataupun ketika pemandangan tidaklah penting. Dalam kasus ini, sirip dapat dimiringkan baik ke arah selatan untuk mendapatkan lebih banyak matahari musim dingin atau ke utara untuk lebih banyak mendapatkan cahaya siang yang lebih dingin (Gbr.9.12) atau keduanya jika sirip tersebut bisa digerakkan.

Dengan menggerakkannya sebagai respons terhadap siklus harian matahari, sirip yang dapat bergerak membiarkan pandangan tidak terhalang sepanjang hari, tetapi juga tetap dapat menghalangi matahari ketika dibutuhkan. Sebagai contoh, sirip yang dapat bergerak pada jendela barat bisa dipasang pada posisi tegak sampai siang hari ketika matahari cenderung menyoroti mereka (Gbr. 9.10d, atas). Baik sekaligus maupun bertahap, sirip akan berputar menuju posisi seperti yang diperlihatkan pada Gambar.9.10d, bawah. Sirip yang dapat bergerak pada jendela di bagian timur tentu saja akan bekerja dengan cara yang serupa. Jadi, jika peneduh efektif dan pandangan ke arah timur dan barat semuanya diinginkan, maka

lebih baik dipertimbangkan penggunaan sirip yang dapat bergerak dibandingkan yang permanen.

Sebuah catatan yang perlu diperhatikan adalah urutan kejadiannya. Ketika matahari menimpa overhang horizontal dengan lebar yang sama dengan jendela (Gbr. 9.6b), maka ia akan menanjak melalui bagian atas sirip vertikal yang menyentuh hanya bagian kepala jendela. Perpanjang sirip di atas bagian atas jendela atau tutup sirip dengan overhang yang sama lebarnya dengan sirip tersebut (Gbr. 9.3c).

Keuntungan dari overhang dan sirip vertikal adalah kombinasi kedua perangkat tersebut yang saling melengkapi satu sama lain. Konsekuensinya, pada orientasi barat dan timur, bingkai (Gbr. 9.3c) atau sistem *eggcrate* (Gbr. 9.14a-d) merupakan sistem peneduh yang efektif.

Peraturan untuk Jendela-jendela Timur dan Barat

1. Gunakan sesedikit mungkin jendela di bagian timur, terutama di bagian barat.
2. Hadapkan jendela di bagian timur dan barat ke arah utara atau selatan, seperti yang terlihat di Gambar 9.3b.
3. Ketika pandangan ke arah bawah dan horizontal dipentingkan, gunakan overhang horizontal dengan peneduh indoor sebagai penunjang.
4. Gunakan pepohonan, teralis tanaman, atau tanaman gantung (Gbr.9.4f-h).
5. Ketika beberapa gangguan pandangan bisa diterima, sirip vertikal dapat menjadi sebuah alternatif. Miringkan sirip ke arah barat laut jika peneduh dibutuhkan pada hampir sepanjang tahun. Miringkan sirip ke arah barat daya jika menginginkan matahari musim dingin.
6. Gunakan perangkat peneduh yang dapat bergerak untuk keteduhan dan pemandangan yang lebih baik.
7. Ketika peneduh sangat diperlukan sementara arah pandang tidak terlalu penting, gunakan sistem *eggcrate*.

9.11 PANDUAN RANCANGAN OVERHANG HORIZONTAL YANG MENGHADAP TIMUR DAN BARAT

Ketika pemandangan ke arah timur dan barat diinginkan, sangatlah penting dipertimbangkan untuk menggunakan overhang horizontal. Sebuah overhang panjang dengan sendirinya efektif dan juga memberikan pemandangan lanskap yang lebih baik dibanding sirip vertikal. Meskipun ada saat-saat matahari mengintip di overhang timur dan barat, selama berjam-jam terdapat bayangan yang berguna sebagai peneduh. Berdasarkan putaran setahun, overhang horizontal merupakan alternatif yang baik dibanding sirip vertikal untuk orientasi timur dan barat.

Ketika matahari mengintip di bawah overhang atau seputar sirip vertikal, penting untuk mendapat beberapa perlindungan tambahan dalam bentuk tirai Venetian, tirai gulung, tirai draperi, dan lain-lain.

Tabel 9.11 membantu perancang untuk menentukan panjang

TABEL 9.11 *Ukuran Overhang Bagian Barat dan Timur**

Iklim Daerah	Kota Acuan	Sudut "C" Dominasi-Internal	Dominasi-Envelope
1	Hartford, CT	65	59
2	Madison, WI	64	55
3	Indianapolis, IN	63	55
4	Salt Lake City, UT	65	60
5	Ely, NE	72	69
6	Medford, OR	71	61
7	Fresno, CA	64	45
8	Charleston, SC	65	49
9	Little Rock, AK	63	52
10	Knoxville, TN	62	51
11	Phoenix, AZ	56	49
12	Midland, TX	63	50
13	Fort Worth, TX	61	54
14	New Orleans, LA	63	44
15	Houston, TX	60	42
16	Miami, FL	50	d
17	Los Angeles, CA	61	43

*Sebuah overhang yang memanjang hingga "garis bayangan" (ditandai dengan sudut"C") akan menaungi jendela bagian barat dan timur dari jam 8:00 hingga 16:00 sepanjang periode panas berlebihan yang paling panas. Pilih kolom untuk sudut "C" berdasarkan tipe bangunan yang bersangkutan (dominasi-internal atau dominasi-envelope).
*Overhang sangat panjang yang diperlukan pada iklim sangat panas menunjukkan permasalahan naungan jendela bagian barat dan timur.

overhang yang diperlukan untuk memberi keteduhan pada jendela di bagian timur dan barat dari jam 8 pagi sampai 4 sore (waktu matahari) hampir selama periode panas berlebihan. Panjang overhang yang ditentukan sebaiknya dipakai sebagai petunjuk, bukan sebuah persyaratan yang kaku. Overhang yang lebih pendek, meskipun kurang efektif, tetaplah berguna.

Overhang panjang yang absurd dibutuhkan pada iklim panas seperti yang terlihat pada Tabel 9.11 yang mengindikasikan masalah dengan jendela di bagian timur dan barat. Oleh karena itu, perlu diulang sekali lagi bahwa, jika memungkinkan, jendela timur dan barat pada daerah iklim panas sebaiknya dihindari sama sekali.

Prosedur untuk Merancang Overhang Permanen di Bagian Timur dan Barat

1. Tentukan daerah iklim dari Gambar. 5.5.
2. Tentukan sudut "C" dari Tabel 9.11.
3. Pada potongan jendela timur dan barat gambarlah "garis bayangan" dari ambang jendela.
4. Setiap overhang yang diproyeksikan terhadap garis ini akan melindungi jendela timur dan barat dari pukul 8:00 pagi sampai 4:00 sore hampir selama periode panas berlebihan. Tentu saja, overhang yang lebih pendek akan tetap berguna dan yang panjang akan lebih baik.

9.12 RANCANGAN SIRIP VERTIKAL MIRING

Prosedur berikut akan mengungkapkan sistem sirip vertikal miring yang akan melindungi jendela di bagian timur dan barat dari sinar matahari langsung selama setahun penuh antara pukul 7:00 pagi sampai 5:00 sore (waktu matahari). Karena letak matahari cenderung rendah setelah pukul 5:00 sore, pepohonan dan bangunan sekitarnya sering menyediakan perlindungan untuk jendela yang terletak pada lantai dasar.

Prosedur untuk Merancang Sirip Vertikal Miring

1. Temukan posisi *latitude* tapak bangunan dari Gambar. 5.6d.
2. Dari Tabel 9.12 tentukan "garis bayangan" sudut "D".
3. Pada denah jendela timur atau barat, gambarkan "garis bayangan" pada sudut "D" dari garis timur-barat (Gbr. 9.12, kiri).
4. Gambarlah sirip vertikal miring sehingga kepala sebuah sirip dan ekor yang terdekat menyentuh "garis bayangan" (Gbr. 9.12, kiri). Penyelesaian yang berbeda dimungkinkan dengan adanya variasi ukuran, ruangan, dan kemiringan sirip tersebut (Gbr. 9.12, kanan).

TABEL 9.12 *Garis Bayangan untuk Sirip Miring Vertikal**

Latitude	Sudut "D"
24	18
28	15
32	12
36	10
40	9
44	8
48	7

*Tabel ini untuk sirip vertikal yang miring terhadap jendela utara, barat, atau timur. Rancangan berdasarkan tabel ini akan menghasilkan naungan dari sinar matahari langsung sepanjang tahun di antara pukul 7:00 hingga 17:00 (waktu matahari). Tabel ini juga dapat digunakan untuk merancang sirip vertikal di jendela utara untuk periode waktu yang sama.

Gambar. 9.12 "Garis bayangan" pada sudut "D" menentukan kombinasi jarak antara sirip, kedalaman sirip, serta kemiringan sirip pada jendela bagian barat dan timur. Sebuah solusi alternatif juga ditunjukkan.

9.13 RANCANGAN SIRIP-SIRIP PADA JENDELA BAGIAN UTARA

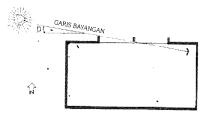
Bangunan dengan periode panas berlebihan yang panjang juga memerlukan peneduh untuk jendela di bagian utara. Karena sudut matahari turut terlibat, sirip vertikal kecil sudah cukup memberikan keteduhan secara utuh dari pukul 7:00 pagi sampai 5:00 sore (waktu matahari) (Lihat Gbr. 17.10b dan c). Gambar 9.13 menggambarkan bagaimana sirip ditentukan oleh sudut "D" yang juga digunakan untuk menentukan ukuran kemiringan sirip pada bagian timur dan barat.

Prosedur untuk Merancang Sirip Utara

1. Temukan posisi tapak bangunan dari Gambar 5.6d.

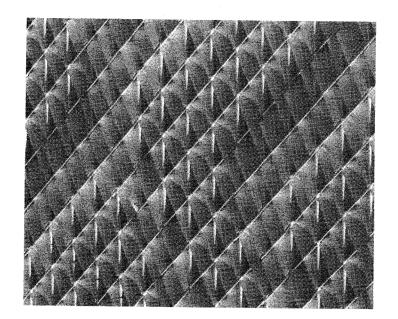
2. Dari Tabel 9.12 tentukan sudut "D" yang sesuai.
3. Pada denah jendela utara gambarkan "garis bayangan" pada sudut "D" dari sebuah garis timur-barat (Gbr.9.13, kiri).
4. Gambarlah sirip vertikal hingga bertemu dengan "garis bayangan" dan perhatikan jika sirip bagian tengah digunakan, semua sirip akan menjadi lebih pendek (Gbr.9.13, kanan).
5. Ingatlah bahwa sirip dibutuhkan pada semua sisi, baik di bagian timur maupun barat dari jendela utara.

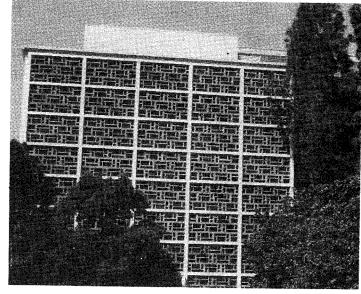
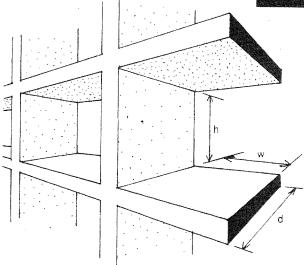
9.14 PANDUAN RANCANGAN UNTUK PERANGKAT PENEDUH BERBENTUK *EGGCRATE*

Perangkat peneduh *eggcrate* terutama digunakan untuk jendela di bagian timur dan barat pada iklim panas. *Eggcrate* merupakan kombinasi dari overhang horizontal (*louvers*) dan sirip vertikal. Dengan mengatur penetrasi matahari, baik dari segi ketinggian maupun sudut azimuth matahari, peneduh yang sangat efektif akan bisa didapatkan. Namun, pandangan akan sangat terganggu.

"Brise-soleil" yang dikembangkan oleh Le Corbusier merupakan sebuah sistem *eggcrate* dengan dimensi umum pada skala ruangan (Gbr.9.1j dan k). Karena peneduh merupakan masalah geometris, perangkat-perangkat kecil yang banyak sama dengan beberapa perangkat yang besar (lihat kembali Gbr.9.3d). Maka, *eggcrates* dapat dibuat seukuran layar tipis. Di India layar tersebut sering dibuat dari potongan marmer (Gbr.9.14a). Saat ini, layar tersebut sering kali dibuat dari metal (Gbr.9.14b) atau unit susunan bebatuan (Gbr.9.14c). Efek peneduh *eggcrate* pada skala yang berbeda adalah identik, tetapi pemandangan dari dalam dan penampilan estetisnya dari luar sangat bervariasi.

Perancang sebaiknya terlebih dahulu memutuskan penampilan umum dari sistem *eggcrate*. Dimensi yang dibutuhkan untuk tiap unitnya (Gbr.9.14d) akan sangat baik jika ditentukan secara eksperimen dengan menggunakan perangkat mesin matahari. Sejauh penetrasi matahari dipertimbangkan, skala *eggcrate* bisa diubah setiap saat sepanjang perbandingan dari h/d dan w/d tetap konstan. Penggunaan mesin matahari untuk tujuan ini akan dijelaskan secara detail di bawah ini.

Gambar 9.13 "Garis bayangan" pada sudut "D" juga menentukan rancangan sirip vertikal pada jendela bagian utara. Sebuah solusi alternatif juga ditunjukkan.

Gambar 9.14a Dinding partisi kasa dibuat dari sebongkah batu marmer yang diukir, sesungguhnya merupakan versi miniatur perangkat peneduh yang berbentuk *eggcrate*.

Gambar 9.14b Perangkat peneduh *eggcrate* terbuat dari logam. (Dari *Construction Specialties*, Inc.)

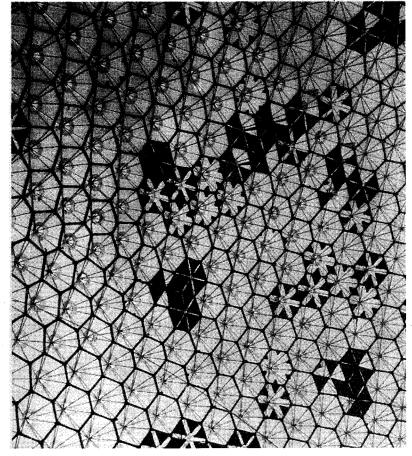
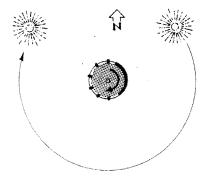
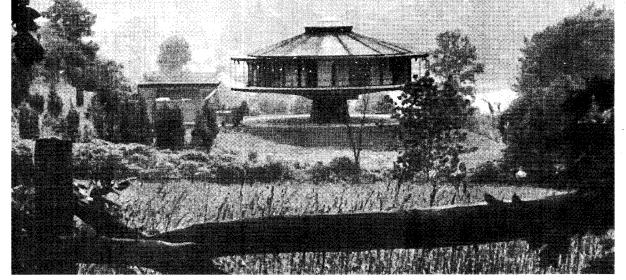
Gambar 9.14c Perangkat peneduh *eggcrate* terbuat dari bahan konstruksi bata.

Gambar 9.14d Efek peneduhan merupakan hasil perbandingan tinggi dengan kedalaman (h/d) dan lebar dengan kedalaman (w/d), bukan dari perbandingan ukuran sesungguhnya.

9.15 STRATEGI KHUSUS PENEDUH

Hampir sebagian perangkat peneduh merupakan variasi dari overhang horizontal, sirip vertikal, atau *eggcrate*. Namun, beberapa perkecualian yang menarik tetap ada.

Kubah geodesik yang dirancang oleh Buckminster Fuller untuk Paviliun Amerika Serikat, Expo '67, menciptakan iklim artifisial untuk strukturnya (Gbr. 4.2b). Untuk mencegah panas berlebihan di dalam kubah plastik jernih tersebut, panel atas memiliki lubang angin dan peneduh gulung khusus. Setiap struktur heksagonal berkilap memiliki enam peneduh berbentuk segitiga yang digerakkan oleh *servomotor*. Gambar 9.15a menunjukkan peneduh ini dalam berbagai posisi.

Sebuah pendekatan yang benar-benar berbeda adalah dengan memutar bangunan sejalan dengan perubahan azimuth matahari. Sebuah dinding solid yang bisa dilapisi oleh pengumpul sinar matahari selalu akan menghadap matahari (Gbr.9.15b). Jika hal ini terdengar sulit dimengerti, pertimbangkan fakta bahwa bangunan berputar sudah pernah dibangun (Gbr.9.15c). Untuk menikmati pemandangan panoramik dari propertinya di Connecticut, Richard Foster membangun sebuah rumah. Walaupun dia tidak membuat dinding polos yang menghadap matahari, dia menyertakan sebuah teras samping (*peripheral*) lebar untuk mendapatkan bayangan (Gbr.9. 15d dan e). Selagi bangunan tersebut berputar, area luas dari lempengan lantai beton mengkilap membiarkan sinar matahari pasif memanaskan bangunan secara seragam bahkan pada siang hari yang terdingin.

Sebuah pendekatan yang serupa, namun lebih sederhana adalah mengharuskan gedung tersebut untuk berdiri diam, namun bayangannya yang bergerak berputar mengelilingi bangunan tersebut. Sebagai contoh, sebuah pintu lumbung yang tergantung dari sebuah jalur melengkung dapat mengikuti matahari di sekitar bangunan (Gbr. 9.15f). Jika pintu lumbung diliputi oleh sel photovoltaic, kita akan mendapatkan jalur pengumpul sinar matahari juga.

Gambar 9.15a Paviliun Amerika Serikat di acara Expo '67, Montreal, Canada, dirancang oleh Buckminster Fuller. Pemandangan dari dalam kubah ini memperlihatkan lubang-lubang ventilasi (panel atas kiri) serta peneduh roller berbentuk segitiga yang mencegah panas berlebihan pada musim panas.

Gambar 9.15b Denah bangunan yang berputar pada siang hari agar dinding yang buram atau pengumpul cahaya selalu menghadap matahari.

Gambar 9.15c Rumah tinggal arsitek Richard Foster yang ia buat sendiri di Wilton, CT pada tahun 1967 memiliki bentuk melingkar dan berputar 360 derajat untuk mendapatkan pemandangan panoramic (keliling) serta pemanasan sinar matahari pasif. (Dari Richard Foster, arsitek).

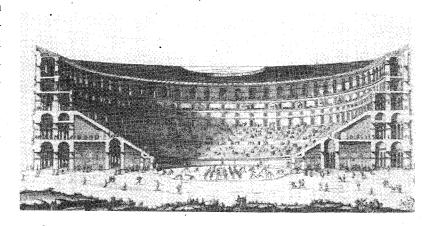
Gambar 9.15d Gambar potongan serta detail potongan dari rumah yang dapat berputar. (Dari Richard Foster, arsitek)

Gambar 9.15e Denah rumah yang dapat berputar. (Dari Richard Foster, arsitek)

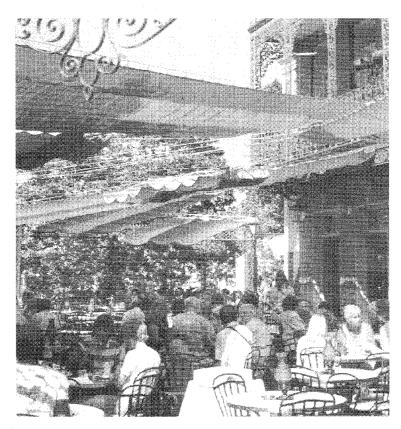
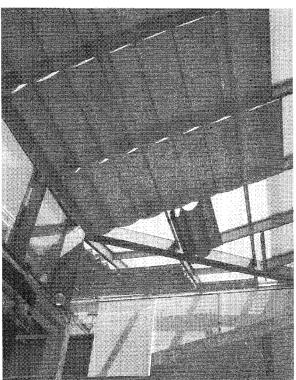
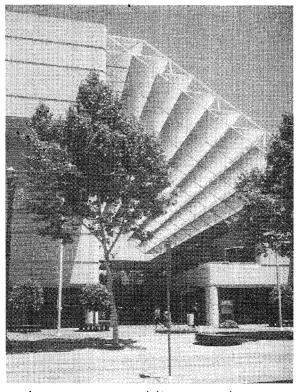
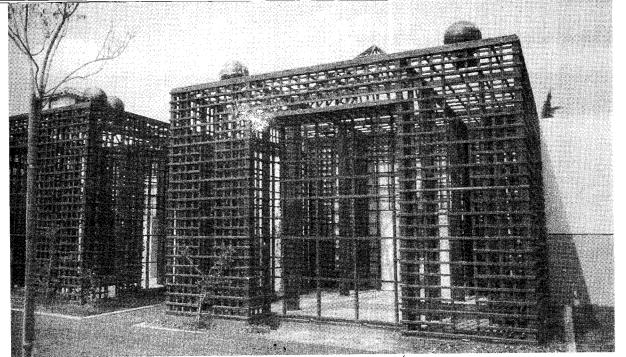
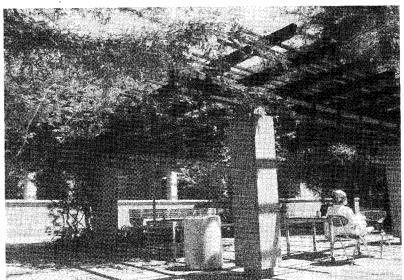
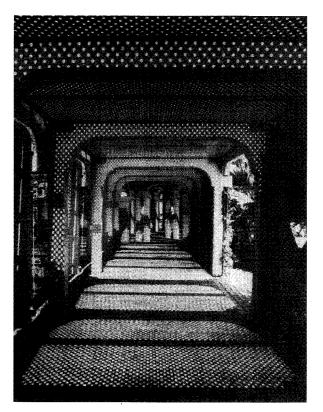
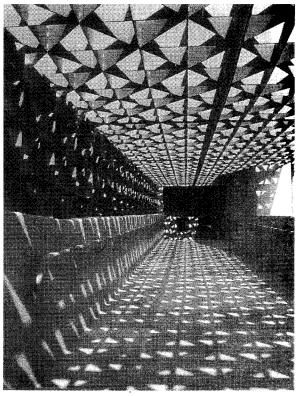
Gambar 9.15f Sebuah panel peneduh yang dapat berputar mengelilingi bangunan sesuai dengan putaran matahari. Jika bidang panel ini dilapisi oleh sel-sel photovolataic, ia akan berfungsi juga sebagai pengumpul sinar matahari.

9.16 MENEDUHI RUANG LUAR

Meneduhi ruang luar bisa jadi sepenting meneduhi bangunan. Amphiteater di ruang terbuka dan stadium memiliki masalah khusus karena ukuran dan kebutuhan tidak terganggunya pandangan. Penyelesaian paling umum adalah dengan menggunakan struktur tekanan selaput (*membrane tensions structure*) karena struktur ini mampu membuat bentangan yang cukup luas dengan biaya rendah. Selaput antiair paling sering digunakan karena selaput ini juga melindungi terhadap hujan dan salju (Gbr. 9.16a), tetapi pada iklim kering, sebentang kain tenunan mungkin sudah memenuhi syarat. Namun, hal ini bukanlah ide baru, orang Romawi tidak hanya menutupi gedung-gedung teater, tetapi juga menutupi Colosseum yang sangat besar dengan awning (Gbr.9.16b). Versi modern awning yang dapat digerakkan yang berskala kecil bernama *toldos* diperlihatkan pada Gambar 9.16c dan d.

Gambar 9.16a Struktur membran sebagai peneduh ruang duduk di ruang luar, Snowmass, CO.

Gambar 9.16b Colosseum Romawi, yang dibuat sekitar 80 AD, yang memiliki kapasitas tempat duduk untuk sekitar 50.000 penonton, ditutupi oleh sebuah awning besar sebagai pelindung dari matahari. (Dari *Lanfiteatro Flavio Descritto e Deliniato* oleh Carlo Fontana, Vaillant, 1725)

Banyak struktur peneduh tradisional dirancang untuk menciptakan bayangan, tetapi tetap membiarkan udara dan hujan melewatinya. [5]***Pergola*, terali,** dan ***arbor***[6] merupakan contoh struktur tersebut (Gbr.9.16f). Struktur peneduh nontradisional yang menarik diperlihatkan pada Gambar. 9.16g dan Gambar. 9.16h.

Ketika sistem peneduh ruang luar cocok dan permanen, sebaiknya peneduh ini dirancang untuk membiarkan matahari musim dingin masuk dan menolak matahari musim panas (Gbr.9.16e). Penulis sudah melihat banyak struktur peneduh yang menciptakan lebih banyak bayangan pada saat musim dingin dibanding saat musim panas. Merancang sebuah struktur peneduh yang berhasil tidaklah sesederhana penampilannya. Cara terbaik untuk merancang sistem peneduh ruang luar seperti halnya untuk bangunan adalah dengan menggunakan model fisik mesin matahari. Teknik ini akan dijelaskan berikut.

Gambar 9.16c Tipe awning yang dapat ditarik-gulung ini telah digantung dari kabel, dan dinamakan *toldo*. Disneyland, CA.

Gambar 9.16d Taman musim dingin ini, yang terletak di Washington, DC, dilindungi dari matahari musim panas oleh awning yang dapat dilipat, yang juga disebut sebagai *toldos*.

Gambar 9.16e Sistem peneduh tetap ruang luar sebaiknya membiarkan udara panas untuk keluar dan matahari musim dingin masuk, seperti pada struktur bangunan yang berada di San Jose, California.

Gambar 9.16f Struktur peneduh tradisional ruang luar. (Atas) Teralis mengelilingi ruang baca di perpustakaan umum di San Juan Capistrano, California, dirancang oleh Michael Graves; (tengah) pergola; (bawah) atap rangka kayu (*arbor*) di atas taman Governor's Palace, Colonial Williamsburg, Virginia.(Dari Richard Kenworthy).

Gambar 9.16g Struktur peneduh kasa yang penuh dengan lubang-lubang. (dari *ARAMCO World Magazine*)

Gambar 9.16h Arsitek Antoine Predock menggunakan teralis baja batangan sebagai peneduh untuk sirkulasi ruang luar dan taman patung di Fine Arts Center, Arizona State University, Tempe.

9.17 MENGGUNAKAN MODEL FISIK (MAKET) UNTUK RANCANGAN PENEDUH

Mesin matahari telah diperkenalkan terlebih dahulu dan penulis menyarankan bahwa membangun sebuah mesin matahari merupakan investasi yang menguntungkan untuk sebuah sekolah atau kantor arsitektur. Lampiran C memberi instruksi terperinci untuk membuat dan menggunakan mesin matahari. Satu aplikasi utamanya adalah rancangan perangkat-perangkat peneduh. Pengujian model perangkat peneduh tidak hanya memberi umpan balik performa perangkat, tetapi juga mengajarkan perancangnya banyak hal mengenai semua pertanyaan soal peneduh matahari. Karena metode rancangan ini mempunyai konsep sederhana, maka mudah dipelajari dan diingat. Langkah demi langkah prosedur untuk merancang perangkat peneduh yang dibantu model fisik diikuti oleh gambar contoh.

Prosedur untuk Rancangan Peneduh dengan Bantuan Perangkat Model Fisik

1. Buatlah model berskala dari sebuah bangunan atau paling tidak bagian tipikal dari fasade bangunan tersebut.
2. Aturlah mesin matahari dan sesuaikan pada posisi yang benar (Lihat Lampiran C).
3. Tempatkan model pada bagian tengah ujung meja mesin matahari. Pastikan untuk mengarahkan model dengan sebaik-baiknya (misalnya jendela selatan harus menghadap ke selatan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.17a).
4. Tentukan akhir periode panas berlebihan dan periode kekurangan panas dari Tabel 9.5B dan 9.5C untuk bangunan *Dominasi internal* dan bangunan dominasi envelope.
5. Atur lampu mesin matahari untuk menyelaraskan tanggal periode panas berlebihan, periksa peneduh pada model, dan sesuaikan overhang seperti yang dibutuhkan.
6. Putar tempat model untuk mensimulasi perubahan ba-

yangan pada jam-jam yang berbeda pada tanggal tersebut.

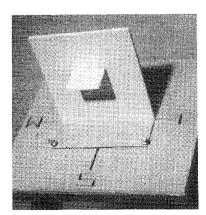
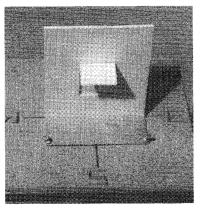
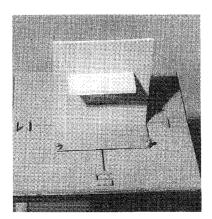
7. Buatlah lebih banyak penyesuaian tambahan pada model untuk mencapai keteduhan yang diinginkan.
8. Atur lampu mesin matahari untuk menyelaraskan tanggal akhir periode kekurangan panas, dan periksa penetrasi matahari.
9. Buat perubahan-perubahan pada model jika penetrasi matahari tidak cukup.
10. Putar tempat model untuk mensimulasikan perubahan bayangan-bayangan pada tanggal tersebut.
11. Ulangi langkah ke-5 hingga 10 sampai perkembangan rancangan yang bisa diterima.

Contoh Bergambar

Masalah

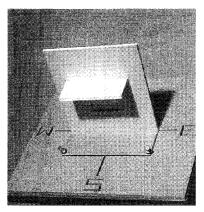
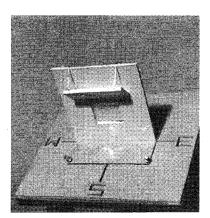
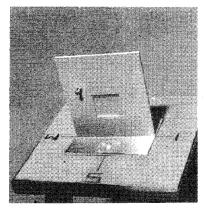
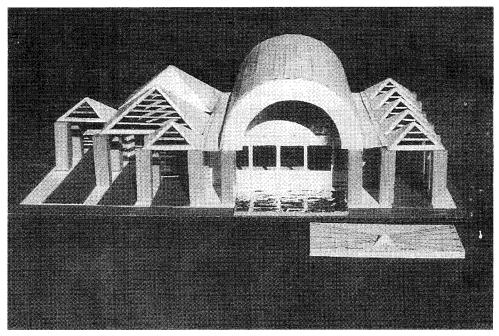
Sebuah bangunan kantor kecil (bangunan dominasi envelope) di Indianapolis, Indiana, membutuhkan sebuah overhang horizontal. Cahaya siang tidak diperhitungkan pada contoh ini. Overhang tersebut untuk jendela selebar 5 kaki dan setinggi 4 kaki yang terdapat pada dinding yang menghadap selatan.

Pemecahan

1. Buatlah sebuah model jendela dengan beberapa dinding yang mengelilinginya. Untuk kenyamanan, model sebaiknya dibuat sekitar 6 inci pada sisinya (Gbr. 9.17a). Gunakan lembaran film plastik jernih, seperti acetate, untuk permukaan kaca (*glazing*).
2. Lampiran C menjelaskan bagaimana cara mengatur dan menggunakan mesin matahari. Sesuaikan ujung meja untuk posisi Indianapolis, yaitu 40° Bujur Utara.
3. Dengan menggunakan paku payung atau double-stick tape, tempelkan model pada bagian tengah ujung meja dan arahkan ke selatan (Gbr. 9.17a).
4. Dari Gambar 5.5, tentukan bahwa Indianapolis berada dalam iklim region 3. Karena dikondisikan bahwa bangunan tersebut merupakan dominasi envelope, gunakan Tabel 9.5C untuk menentukan periode panas berlebihan berakhir pada sekitar tanggal 15 September dan periode kekurangan panas berakhir sekitar tanggal 7 Mei.
5. Pindahkan cahaya pada mesin matahari untuk mengaitkannya dengan tanggal 15 September. Potong dan tempelkan sebuah overhang dengan panjang tertentu pada saat bayangan baru saja menyentuh ambang jendela (Gbr. 9.17a).
6. Ketika pegangan model diputar, bayangan untuk berbagai waktu yang berbeda dalam sehari bisa diamati. Catat bagaimana matahari menerobos jendela pada pukul 4:00 sore karena overhangnya tidak cukup lebar (Gbr.9.17b).
7. Overhang dibuat lebih lebar (Gbr.9.17c).
8. Pindahkan lampu ke posisi yang berkaitan dengan akhir periode kekurangan panas, yang di atas sudah kita tentu-

Gambar 9.17a Pembuatan dan penempatan model mesin matahari. Bayangan yang ada adalah yang tepat menaungi jendela pukul 12:00 (siang) pada akhir periode panas berlebihan (15 September) untuk rancangan ini.

Gambar 9.17b Bayangan ini sekarang sesuai dengan jam 16:00 (sore), 15 September. Perhatikan bagaimana matahari mengepung overhangnya.

Gambar 9.17c Overhang telah dirancang ulang dengan ukuran yang lebih lebar.

kan sekitar tanggal 7 Mei. Pada saat itu, jendela sebaiknya tetap di matahari dan tidak terlindungi (Gbr.9.17d). Karena overhang yang lebih pendek akan mengurangi peneduhan pada waktu musim panas, maka gunakanlah overhang yang dapat bergerak saja.

9. Ayunkan overhang ke atas sampai jendela terekspos sepenuhnya terhadap matahari musim dingin.
10. Putar pegangan model untuk melihat bagaimana bayangan berubah dalam sehari.
11. Penyelesaian untuk kasus ini adalah sebuah overhang yang dipindah dua kali dalam setahun. Selama musim panas, overhang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9.17d dan selama musim dingin diposisikan ke atas seperti pada Gambar 9.17e.

Pengujian model bisa menimbulkan banyak kejutan. Sebagai contoh, sedikit sinar matahari menembus glazing pada sudut-sudut yang tajam. Peristiwa glazing tersebut hampir menyerupai cermin pada sudut-sudut seperti

Gambar 9.17d Cahaya telah diatur ulang untuk memperlihatkan peneduhan sesaat sebelum akhir periode keku-rangan panas (dalam hal ini pada kasus 7 Mei) di mana untuk saat ini sinar matahari masih diinginkan. Namun, jendela masih berada di bawah peneduh.

Gambar 9.17e Overhang digerakkan ke atas hingga jendela terekspos semua dengan matahari musim dingin. Ini menentukan posisi overhang sepanjang periode kekurangan panas.

Gambar 9.17f Model ini memperlihatkan bahwa pada saat terjadi sudut besar, sinar matahari lebih banyak terpantul dari *(glazing)*. Perhatikan pantulan pada lantai di bawah jendela.

Gambar 9.17g Serumit apa pun masalah peneduhan, model fisik/maket dapat membantu perancang.